

文章编号: 0253-9985(2009)02-0136-07

库车坳陷东部古近系—白垩系储层控制因素及有利勘探区

沈 扬¹, 马玉杰², 赵力彬², 张荣虎¹, 寿建峰¹, 张惠良¹

(1. 中国石油天然气股份有限公司 杭州地质研究院, 浙江 杭州 310023)

(2. 中国石油天然气股份有限公司 塔里木油田分公司, 新疆 库尔勒 841000)

摘要: 库车坳陷东部山前复杂构造区储层受沉积相、成岩作用、埋深及构造应力等多种因素控制, 有效储层分布预测难度大。通过综合研究, 首次建立起库车东部白垩系对比关系, 明确白垩系巴什基奇克组在库车东部广泛分布, 受沉积微相及物源分布影响, 储层物性具有从东到西、从北到南变好的趋势。刚性颗粒含量较高的储层预测有效埋深可以大于 7 000 m。古构造应力对储层的构造压实作用从造山带向盆地减弱。结合多种控制因素预测了有利储层勘探区。

关键词: 储层控制因素; 有利勘探区; 古近系; 白垩系; 库车坳陷东部; 塔里木盆地

中图分类号: TE132 文献标识码: A

Controlling factors of the Paleogene-Cretaceous reservoirs and potential exploration areas in the eastern Kuqa Depression

Shen Yang¹, Ma Yujie², Zhao Libin², Zhang Ronghu¹, Shou Jianfeng¹, Zhang Huiliang¹

(1. PetroChina Hangzhou Institute of Geology, Hangzhou, Zhejiang 310023 China;

2. PetroChina Tarim Oilfield Company, Tarim, Xinjiang 841000 China)

Abstract The reservoirs in the complicated piedmont structural zones of the eastern Kuqa Depression are controlled by such factors as precipitation facies, diagenesis, burial depth, and tectonic stress, causing difficulties in reservoir distribution prediction. The Cretaceous in the eastern Kuqa Depression was correlated for the very first time. The Cretaceous Bashijiqike Formation is widely distributed in the eastern Kuqa and the reservoir properties show a tendency of getting better from east to west and from north to south because of the influence of sedimentary microfacies and source distribution. The predicted valid burial depth for reservoirs with high content of rigid grains may be more than 7 000 m. The compaction of reservoir by the palaeotectonic stress weakens from the orogenic zone to the basin. Potential exploration areas were finally predicted through integrating various controlling factors.

Key words reservoir controlling factor; Paleogene; Cretaceous; eastern Kuqa Depression; Tarim Basin

库车坳陷位于塔里木盆地的北缘(图 1), 北部与天山相邻, 南面紧靠塔北隆起。为一发育于海西晚期晚二叠世, 经历了多期构造运动叠加的在古生代被动大陆边缘之上发育起来的中、新生代复合前陆盆地^[1, 2]。盆地边缘的冲积扇、扇三角洲保存齐全, 盆地中间地带为在剥蚀夷平背景下

的三角洲、滨浅湖沉积^[3, 4]。坳陷东部白垩系主要储层段为巴什基奇克组(K_1bs), 从野云 2 至东秋呈连片分布。古近系为库姆格列木群(E_1km)及苏维依组(E_{2-3s}), 这两个层段为库车坳陷东部的主要储层段, 沉积相为辫状河三角洲及扇三角洲沉积。

收稿日期: 2009-02-25。

第一作者简介: 沈扬(1964—), 男, 高级工程师, 构造及沉积储层。

基金项目: 国家基础研究发展计划(973)项目(2006CB202304)。

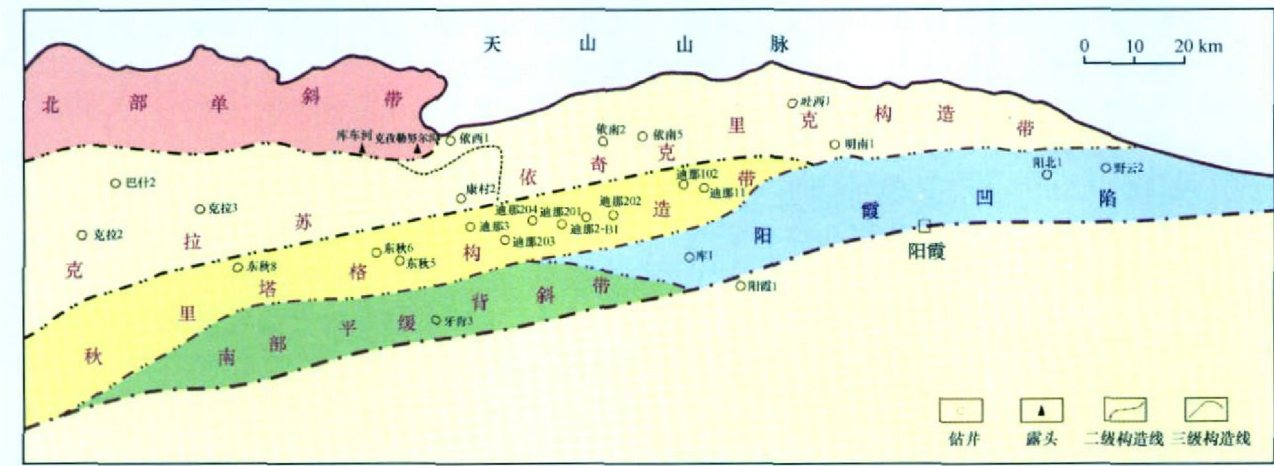


图 1 研究区的构造分区及钻井分布

Fig. 1 Map showing structural zones and well locations in the study area

2000年在库车东部古近系发现了迪那 2 大气田, 对这套储层有过较为深入的研究^[5 6], 但东部白垩系勘探程度低, 近几年随着勘探层系及勘探范围不断扩大, 白垩系勘探获新发现。迪那 2 气田开发井迪那 2-B1 井在白垩系测试获工业气流, 阳北区带的野云 2 井在白垩系获得良好油气显示, 展示库车东部白垩系良好的勘探前景, 成为继古近系之后又一套现实的勘探层系。但钻探结果同时说明山前复杂构造带储层受沉积相、成岩作用、构造应力等多种因素的控制, 有利储层发育区预测难度大, 已成为制约库车油气勘探又一瓶颈。本文在前人研究基础上^{[5 6] ①}, 结合近两年库车东部地区勘探成果, 对库车东部古近系和白垩系储层特征、主控因素进行较为系统研究, 以期指导库车东部油气勘探。

研究认为: 1) 古近系储层主要受控于沉积相、岩相 (物源) 及构造因素; 2) 白垩系储层控制因素主要是沉积微相及岩相 (储层中石英质颗粒的含量), 储层从东到西、从北到南有变好的趋势; 3) 构造压实作用对储层的影响从造山带向盆地减弱。

1 储层基本特征

1.1 古近系

古近系可分为苏维依组 (E_{2-3s}) 和库姆格列木群 (E_{1-2km})。储集岩以粉砂岩、细砂岩为主, 其次为含砾砂岩、砂砾岩, 少量砾岩。岩石类型主要为

岩屑砂岩, 次为长石岩屑砂岩 (图 2); 平面上自东向西, 自北向南石英含量有增加的趋势。颗粒呈次棱-次圆状, 分选中等-好, 呈点-线接触, 孔隙式胶结为主, 基底式胶结为辅。填隙物含量较高, 占岩石的 10% 以上, 且分布不均匀, 局部可达 30% 以上, 常见杂基有泥质、铁泥质, 胶结物以碳酸盐居多, 偶见少量膏质、硅质胶结物; 砂砾岩、含砾砂岩中填隙物含量较高。储层总体具有结构成熟度中等偏高、成分成熟度较低的特点。

储集空间以原生粒间孔为主, 次为粒间及颗粒溶孔、微裂缝和微孔隙。孔隙组合类型与岩性关系较为密切: 粉砂岩、中-细砂岩, 含砾砂岩的剩余原生粒间孔、粒间溶孔相对发育; 而泥质粉砂岩、含泥粉砂岩、灰质和膏质粉砂岩、砂砾岩孔隙不发育, 构造缝、微孔隙相对含量较高。

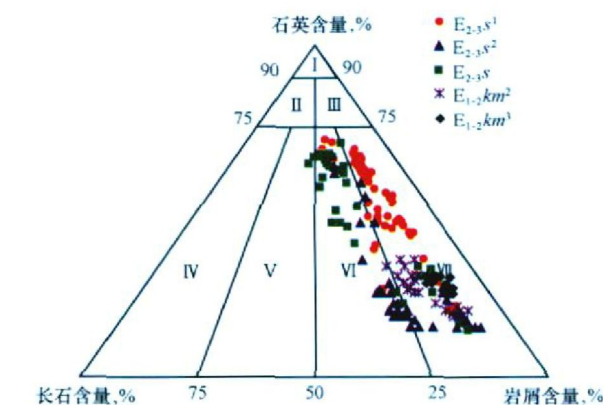


图 2 库车坳陷东部迪那地区 E 砂岩成分三角图

Fig. 2 Triangular diagram of sandstone composition for the Paleogene in the Dina area of eastern Kuqa Depression

① 张惠良, 沈扬, 寿建峰, 等. 库车地区东部山前构造成岩作用与有利储层预测. 2006

古近系总体为一套低孔低渗和低孔特低渗储层,物性具有北差南好的趋势,且纵向变化较大,优质储层主要发育在迪那地区。迪那 2 井区 $E_{2-3}s^1$ 储层孔隙度 (Φ) 为 9.4% ~ 11.0%, 渗透率 (K) 为 $0.2 \times 10^{-3} \sim 1.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; 北部康村 2 井相带更近物源, 导致物性差, $E_{2-3}s^1$ 储层孔隙度平均 3.8%, 渗透率平均 $0.031 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

1.2 白垩系巴什基奇克组

以灰褐色、褐灰色含砾砂岩、细-粗砂岩为主,夹薄层泥岩、粉砂质泥岩,从野云 2 至东秋 8 呈连片分布,厚度由西向东逐渐减薄。储层以岩屑砂岩为主,平面上自东(野云 2 井)向西(东秋 8 井)砂岩粒度逐渐变细,分选趋好,石英含量增高,岩屑含量逐渐降低(图 3)。

孔隙类型自东向西变化明显,野云 2 井区以构造缝-溶蚀-微孔隙为主,其中溶蚀孔-微孔隙占储集空间的 80.6%; 迪那地区以溶蚀孔-残余

原生粒间孔-微孔隙为主,其中溶蚀孔-残余原生粒间孔占储集空间的 50%; 东秋 8 井区以残余原生粒间孔-溶蚀孔为主,残余原生粒间孔占储集空间的 57.3%; 总体具有向西残余原生粒间孔明显增多,次生孔(溶蚀孔、裂缝)相对减少的特征。

储层物性自东向西逐渐变好,西部东秋 8 井最好,孔隙度 9.1% ~ 20.8%, 平均为 15.2%, 渗透率 $0.06 \times 10^{-3} \sim 135 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均为 $119.9 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; 中部迪那地区居中,孔隙度 1.8% ~ 9.9%, 平均为 5.3%, 渗透率 $0.014 \times 10^{-3} \sim 2.73 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均为 $0.137 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; 东部野云 2 井区最差,孔隙度 1.95% ~ 10.5%, 平均 4.4%, 渗透率 $0.133 \times 10^{-3} \sim 20.4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均为 $1.98 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (图 4)。白垩系巴什基奇克组相对优质储层(孔隙度大于 10%, 渗透率大于 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$) 主要发育在迪那地区——东秋 8 井区。

2 储层控制因素

2.1 原始沉积组构是储集性能的基本主控因素

古近系: 主要为扇三角洲沉积,不同相带储层物性变化十分明显: 扇三角洲前缘的水下分流河道、河口坝微相砂体沉积的厚度大,且横向展布广、连续性好,砂岩粒度较细,一般以粉砂岩-细砂岩为主,分选性好、磨圆度较高,成分和结构成熟度高,泥质含量相对较低,因而物性相对较好; 而扇三角洲平原亚相砾(砂)质辫状河道、泥石流沉积的砂体,砂、泥、砾混杂堆积,分选性和磨圆度均差,陆源泥质含量高,由其形成储集砂体的物性往往很差(图 5)。

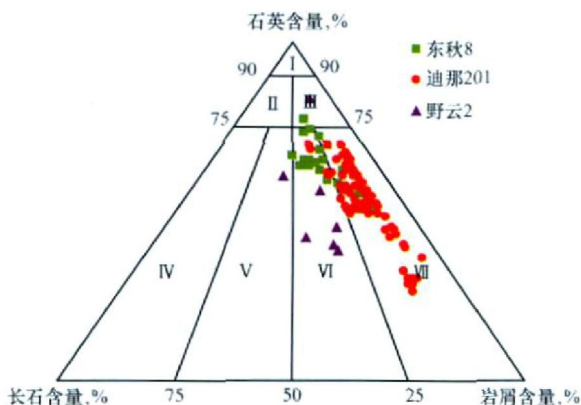


图 3 库车坳陷东部 K_1bs 砂岩成分三角图

Fig. 3 Triangular diagram of sandstone composition for the K_1bs in the eastern Kuqa Depression

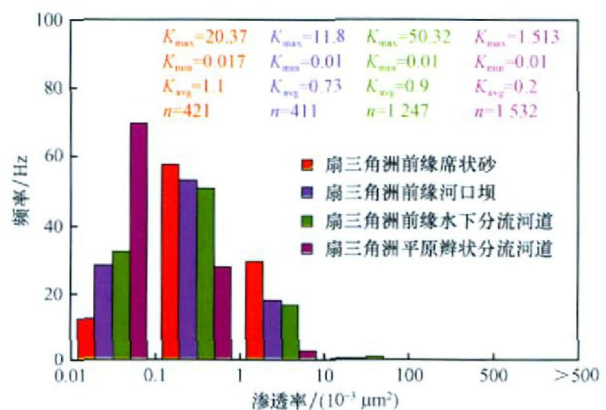
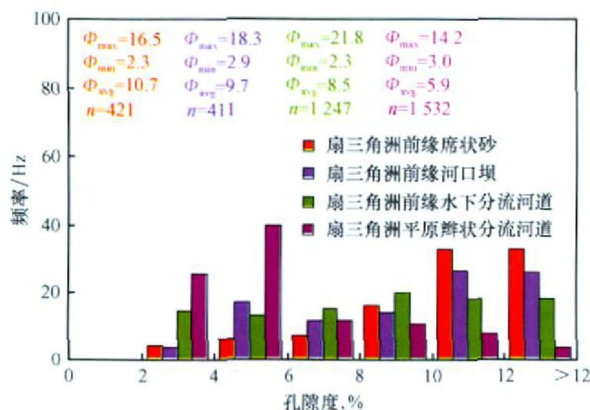


图 4 库车坳陷东部古近系不同沉积微相物性直方图 (n 为样品数)

Fig. 4 Histogram showing the physical properties of the Paleogene sedimentary microfacies in the eastern Kuqa Depression

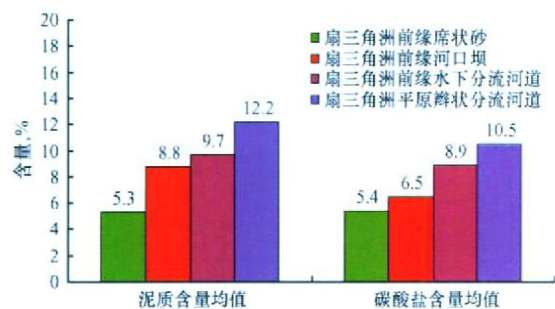


图 5 库车坳陷东部古近系扇三角洲不同微相泥质及碳酸盐胶结物含量直方图

Fig. 5 Histogram showing the content of shale and carbonate cement in different microfacies of the Paleogene fan delta in the eastern Kuqa Depression

巴什基奇克组: 主要为辫状三角洲沉积, 储层物性与砂岩的粒度、分选及泥质含量关系明显, 相对优质储层主要发育在辫状三角洲前缘水下分流河道中砂岩及细砂岩中, 分选磨圆好、泥质含量低, 储层物性好, 而粉砂岩、粗砂岩物性较差 (图 6)。

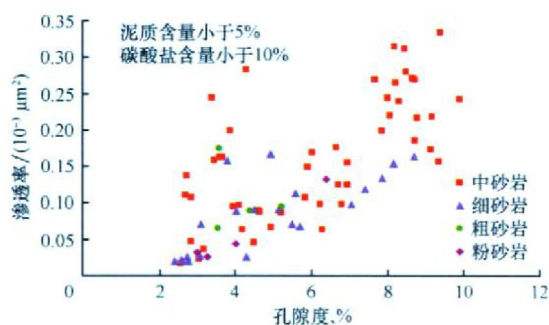


图 6 库车坳陷东部 K_1bs 不同粒级砂岩物性分布

Fig. 6 Physical property distribution of the K_1bs sandstone of different grain sizes in the eastern Kuqa Depression

2.2 成岩作用是储集性能的关键主控因素

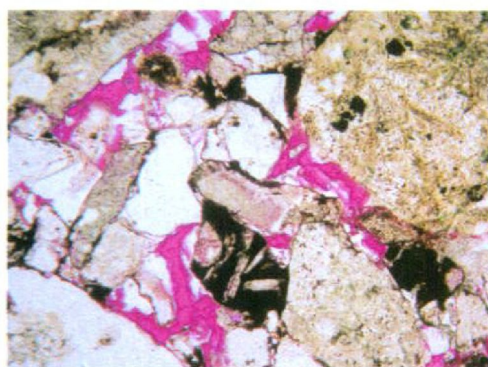
2.2.1 压实、胶结作用

成岩作用大大降低了储集性能^[7~11], 库车坳陷东部古近系埋藏较深, 压实强度中等, 压实减孔量一般 17.1% ~ 29.3%, 平均为 23.1%。相比而言, 砾岩、砂砾岩、粗砂岩分选差, 岩屑 (灰岩) 含量高, 抗压实能力弱, 减孔量高; 主力储集岩粉砂岩及细砂岩结构、成分成熟度均高, 压实作用弱, 减孔量小; 此外古近纪气候炎热干燥, 属于典型的碱性环境, 非常有利于早期碳酸盐岩的形成。而沉积时砂砾岩、含砾砂岩原始孔隙发育, 地下水活跃, 为碳酸盐碎屑在成岩过程中压溶再沉淀创造有利条件, 碳酸盐胶结物一般为 3% ~ 15%, 平均为 8.54%, 其含量与物性呈明显负相关, 当胶结物含量大于 10% 时, 基本为非储层。

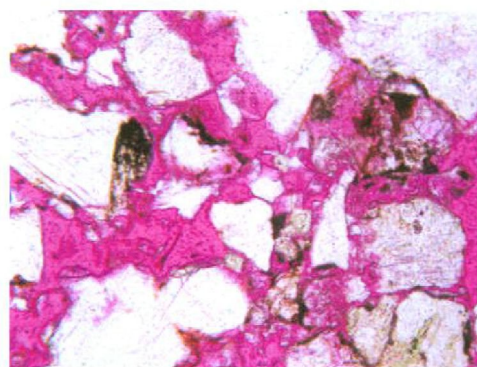
受埋深及沉积环境影响, 白垩系储层埋藏压实作用强, 减孔量一般为 21.9% ~ 29%, 平均为 24.8%, 胶结作用相对较弱, 减孔量一般为 3% ~ 11%, 平均 7.1%, 现存孔隙度一般为 5% ~ 10%。

2.2.2 溶蚀作用

受油气运聚时期带来的酸性水及表生暴露时期的大气水共同影响, 古近系—白垩系砂岩溶蚀作用相对较强, 是致密砂砾岩、砾岩储层物性得到改善的重要原因之一。增孔量一般为 0.5% ~ 3%, 主要发育在砂砾岩、砾岩等粗粒储层中 (图 7), 表现为方沸石胶结物、长石及岩屑颗粒的部分溶蚀或全部溶蚀。溶蚀作用较好地改善了储



迪那201井, 4 864.52 m, E_2-3^2 , 砂砾岩, 方沸石溶孔, 溶孔0.5%, 孔隙度4.02%, 渗透率 $0.009 \times 10^{-3} \mu m^2$



东秋8井, 5 055.57 m, K_1bs^1 , 细砂岩, 方沸石溶孔, 溶孔1%, 孔隙度10.13%, 渗透率 $1.34 \times 10^{-3} \mu m^2$

图 7 库车坳陷东部 E- K_1bs 储层溶蚀特征

Fig. 7 Karst features of the E- K_1bs reservoirs in the eastern Kuqa Depression

层的孔隙结构,形成超大孔、伸长孔,提高了储层的孔隙度,使其最终成为有效的产气层。平面上,方沸石溶蚀自东向西规模增强;纵向上, K_1bs 储层中方沸石及长石、岩屑溶蚀量均比古近系大,溶蚀作用的强度随距不整合面上、下距离的增大而减弱。

2.3 埋藏深度控制有效储层的发育

迪那地区古近系每百米地温梯度 $2.19 \sim 2.259^\circ\text{C}$, 压力系数 $2.06 \sim 2.29$ 为常温超高压系统。超高压主要由构造挤压造成,形成时期晚 (3Ma 以来),对储层孔隙度影响有限。因此,在沉积相带相似的情况下,决定储层发育的直接因素是历史埋深。古近系储层沉积以来基本经历了短期、快速、岩性、泥质含量、碳酸盐胶结物、地层压力、裂缝发育情况等相同 (相似) 的条件。通过对迪那地区 E_{2-3s} 研究表明:有效储层 (孔隙率大于 6% , 渗透率大于 $0.05 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$) 的最大埋深可能达到 5800m (裂缝不发育段), 相对优质储层 (孔隙度大于 9% , 渗透率大于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$) 的埋深一般小于 5350m (图 8)。

K_1bs 储层受早期表生作用、长期浅埋-晚期深埋藏方式、不整合面及沉积环境、物源的差异影响,有效储层的埋藏底限相对复杂,但自东向西具有明显增大趋势,盆地边缘的野云 2 井有效储层埋深小于 5000m , 迪那地区为超过 5500m 。东

秋 8 井区有效储层埋深 5200m 孔隙度接近 20% , 石英质岩屑加石英颗粒可达到 70% 。该类储层据上面的压实系数推测,按石英砂岩每千米压实 6% 孔隙度计算,在埋深 7200m 仍然为有效储层 (孔隙度 8% 左右)。

2.4 古构造应力对储层的压实作用

近几年研究表明,山前构造应力对储层成岩作用有一定的影响,相当于岩石深埋造成的影响。岩石所经受的古构造应力可以通过声发射方法取得^[12]。计算及实测表明,每 100MPa 的古构造应力相当于 1800m 埋深所造成的结果^①。

声发射构造应力的实测数据表明 (表 1), 库车东部古近系、白垩系所受的古构造应力强度基本一致,反映本区晚白垩世的抬升以升降作用为主,而不是大规模的构造挤压,这从钻井及露头区两层系的接触关系为平行不整合而不是角度不整合上也得到支持。古近系、白垩系所受古构造应力强度基本一致,表明了它们所受的构造压实作用也是基本相同的。

但井下样品与地表样品古构造应力的测试有所差异,因为样品在地下还受到现今的构造应力及样品埋深的影响。靠近山前的现今地应力与实测古构造应力相差较大,说明所受古构造应力较大 (表 1); 东秋构造带样品实测现今有效构造应力远大于克-依构造带;现今地应力分布与古地应

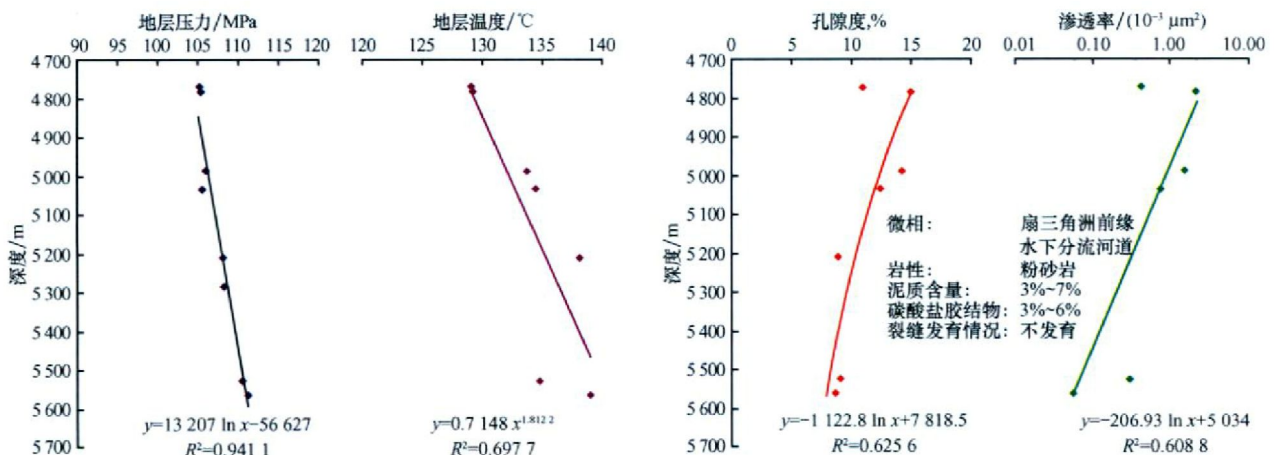
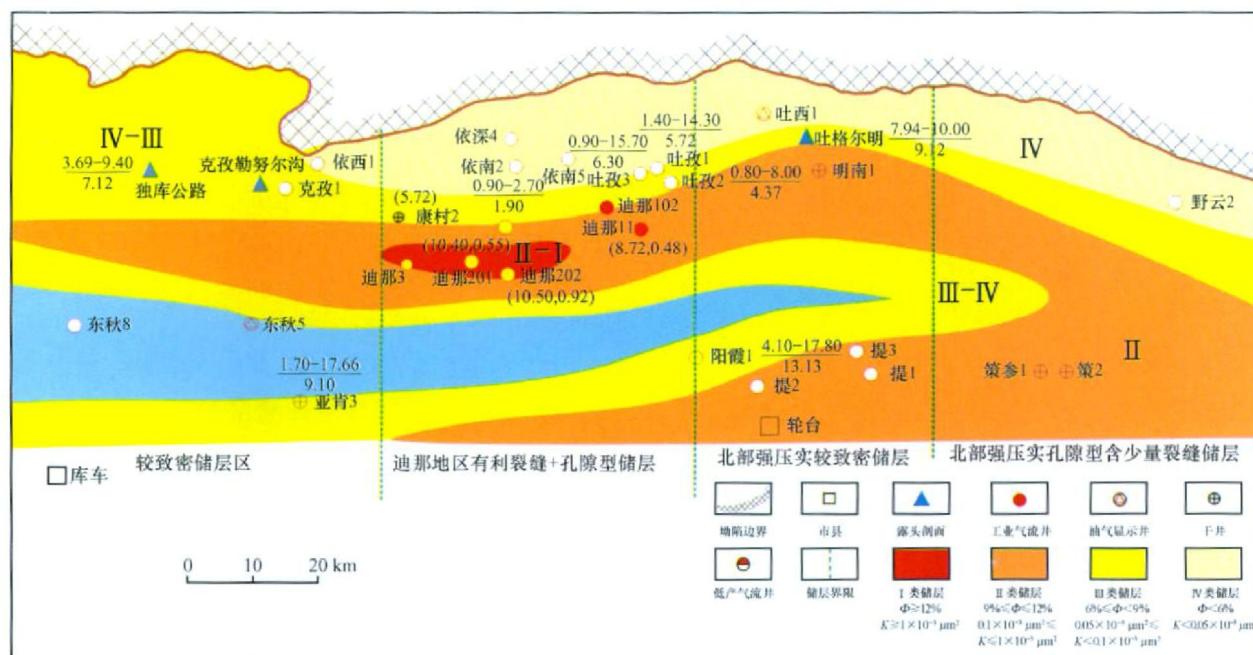


图 8 库车坳陷东部古近系储层物性与埋深、温压关系

Fig. 8 Physical properties vs burial depth and temperature for the Paleogene reservoirs in the eastern Kuqa Depression

① 张惠良, 张荣虎, 沈扬, 等. 库车坳陷沉积储层研究及储层精细描述. 2007

图 10 库车坳陷东部 E_{2s} 储层综合评价及预测图Fig. 10 Evaluation and prediction of the E_{2s} reservoir in the eastern Kuqa Depression

4 下步勘探建议

1) 库车东部阳北区带野云 2 井钻探在白垩系见到良好的油气显示但未获得突破, 之后又在该带上钻了阳北 1 井, 钻探结果表明阳北区带成藏地质条件差, 处在盆地边缘粗的沉积相带、储集层物性差, 缺少有效储盖组合, 尽管构造发育, 仍应暂缓勘探。

2) 库车东部近期勘探重点为迪那区带古近系、白垩系。迪那区带从西向东发育迪那 3、迪那 2、迪那 1 等三个构造, 迪那 2 古近系含气层系向迪那 3、东秋方向发生相变, 在东秋地区为一套膏泥岩、泥岩, 具备形成大型岩性遮挡油气藏的条件。迪那 2、迪那 3 构造古近系—白垩系可能整体连片含气, 为一大型受构造、岩性控制的油气藏。建议对迪那 3 进行三维地震部署, 进一步落实东秋—迪那区带构造间关系; 在迪那 2 构造东西两翼部署评价井, 进一步验证迪那气藏模式及整体储量规模, 为西气东输提供更加充足的资源。

参 考 文 献

- 1 贾承造. 中国塔里木盆地构造特征与油气 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 232~ 240

- 2 庞雄奇. 中国西部典型叠合盆地油气成藏机制与分布规律 [J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(2): 157~ 158
- 3 金晓辉, 闫相宾, 李铁军, 等. 塔里木盆地油气勘探实践与发现规律探讨 [J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(1): 45~ 52
- 4 刘宝珺, 张锦泉. 沉积成岩作用 [M]. 北京: 科学出版社, 1992. 13~ 20
- 5 马玉杰, 谢会文, 蔡振忠, 等. 库车坳陷迪那 2 气田地质特征 [J]. 天然气地球科学, 2003, 14(5): 371~ 374
- 6 杨帆, 孙玉善, 谭秀成, 等. 迪那 2 气田古近系低渗透储集层形成机制分析 [J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(2): 39~ 42
- 7 郑俊茂, 庞明. 碎屑储集岩的成岩作用 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989. 32~ 120
- 8 张塞, 赵霞飞, 等. 陆相低渗透储层形成机制与区域评价 [M]. 北京: 地质出版社, 2002. 158~ 173
- 9 张峭楠. 致密天然气砂岩储层: 成因和讨论 [J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(1): 1~ 10
- 10 肖芝华, 钟宁宁, 黄志龙, 等. 从模拟实验看致密砂岩储层的石油成藏条件 [J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(6): 721~ 725
- 11 王生朗, 任来义, 王英, 等. 盐湖环境成岩作用特征及其对高孔隙带形成的影响 [J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(5): 47~ 49
- 12 丁原辰. 声发射法古应力测量问题讨论 [J]. 地质力学学报, 2000, 6(2): 45~ 52

(编辑 高 岩)