

# 库车坳陷东部下第三系碎屑岩储层分异成因模式

谭秀成<sup>1,2</sup>, 李凌<sup>2</sup>, 曹剑<sup>3</sup>, 王振宇<sup>2</sup>, 马青<sup>2</sup>, 孙崇浩<sup>2</sup>, 周成刚<sup>4</sup>

1. 成都理工大学地球科学系, 四川成都 610059

2. 西南石油大学资源与环境学院, 四川成都 610500

3. 南京大学地球科学系, 江苏南京 210093

4. 东方地球物理公司研究院库尔勒分院, 新疆库尔勒 841001

**摘要:** 库车坳陷东部下第三系优质储层主要发育于细粒碎屑岩, 而不是粗粒碎屑岩中。从构造沉积作用分析入手, 结合该区的古气候特征, 通过对两种碎屑岩沉积和成岩演化过程的深入分析, 认为粗粒与细粒碎屑岩经历了同沉积、浅埋藏区域地下水、中深埋藏压实、构造破裂与埋藏溶蚀、构造挤压与超压形成等多阶段的叠合改造, 不同阶段对碎屑岩储层特征影响不一, 从而使得储层储集空间特征出现较大分异。成岩与储层分异的结果形成了现今的油气储层, 主要发育于细粒的粉砂岩储层中, 据此建立了储层发育演化的成因模式。

**关键词:** 成岩分异; 储层分异; 储层成因模式; 下第三系; 库车坳陷。

中图分类号: P618.130.2

文章编号: 1000-2383(2007)01-0099-06

收稿日期: 2006-05-16

## Mechanism and Models for the Lower Tertiary Detrital Reservoir Evolution, Eastern Kuqa Depression of the Tarim Basin

TAN Xiu-cheng<sup>1,2</sup>, LI Ling<sup>2</sup>, CAO Jian<sup>3</sup>, WANG Zhen-yu<sup>2</sup>, MA Qing<sup>2</sup>, SUN Chong-hao<sup>2</sup>, ZHOU Cheng-gang<sup>4</sup>

1. Department of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China

2. Department of Resource and Environment, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China

3. Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China

4. Korla Branch of Geophysical Research Institute, Bureau of Geophysical Prospecting Co. Ltd., CNPC, Korla 841001, China

**Abstract:** The Tertiary high quality reservoir was mainly developed in the fine, but not coarse granular detrital rocks of eastern Kuqa depression of the Tarim basin. The reservoir evolution is reconstructed in this paper, based on a deeper analysis of tectonic, sedimentary and diagenetic process of these two rocks combined with the paleo-climate of this area. A deep analysis of sedimentary and evolution of the fine and coarse granular detrital rocks suggests that the two rocks underwent multi superimposed diagenetic effects, including syn-sedimentary, local ground water in low depth, compaction in intermediate depth, structurally fracture and burial solution, and structurally extrusion. Therefore, the present reservoir features of the two rocks vary largely. The reconstructed model for the reservoir evolution enriches the study of forming mechanism research of detrital clastic rocks.

**Key words:** diagenetic evolution; reservoir evolution; model of reservoir formation; Lower Tertiary; Kuqa depression.

塔里木盆地库车坳陷东部下第三系的油气勘探实践揭示了一种独特的油气地质现象: 优质储层主要发育于以粉砂岩为主的细粒碎屑岩中, 而以砂砾岩和砂岩为代表的粗粒碎屑岩储层质量反而较差, 表明这两种不同性质的储层经历了明显的储层分异作用。关于储层分异的成因与模式研究, 众多学者普遍认为油

气储层的发育演化主要受构造、沉积和成岩作用这 3 种地质因素的控制(Surdam *et al.*, 1989; Gier, 2000; Ketzer *et al.*, 2002; Sachsenhofer *et al.*, 2006). 在库车坳陷,林畅松等(2002)和刘景彦等(2003)从构造层序格架角度讨论了本区沉积体系的发育特点,认为主要发育有冲积扇/扇三角洲、辫状河、辫状河三角洲和滨浅湖相等沉积类型. 旷红伟等(2003)认为沉积相、成岩作用及构造因素共同控制了储层的发育. 本文从储层发育的三要素(构造、沉积和成岩)入手,讨论本区细粒和中粗粒储层分异的成因与模式,期望为本区下一步的油气勘探提供参考信息.

### 1 构造与沉积作用决定了储层岩性的原始分异

库车坳陷位于塔里木盆地北部,北邻南天山造山带,南接塔北前缘隆起带,走向北东东. 库车坳陷经历了多期构造运动,主要受燕山期以来的构造运动控制,尤其是第三纪喜马拉雅末期的构造运动最为强烈,形成了南天山山前大型逆冲褶皱系及一系列逆冲断层,造成了现今四带三凹的构造格局(图 1). 这是一个中生代前陆盆地,其中堆积了由陆源碎屑岩和膏盐岩组成的巨厚下第三系地层(李维锋等,1996).

据贾承造(1997)研究,库车坳陷在新生代进入再生周缘前陆盆地发展阶段,总体上呈现北山南盆的古地理格局,并且具有东高西低和南部前缘隆起

的古地貌特征,使得库车坳陷东部具有多物源体系. 另一方面,构造活动的多阶段性决定了本区下第三系沉积具有粗、细间互变化的垂向组合特点. 构造活跃期,物源主要来自北侧的南天山造山带的粗碎屑物质;构造相对平静期,细碎屑物源供给变得相对重要. 在这样的构造背景和古地形的控制下,本区北部山前带以发育扇三角洲沉积体系为主,而南部前缘隆起带则为三角洲—滨浅湖沉积体系(图 2),即主要包括扇三角洲和三角洲 2 种亚相类型.

扇三角洲相形成于构造阶段性活动期的干旱气候条件下,由陆上和水下分流河道形成的砂质沉积物,以粗粒碎屑占优势为特征,主要由砂砾岩、含砾砂岩和砂岩组成,其结构成熟度和成分成熟度均较低(表 1). 在垂向结构剖面上,以向上变细的沉积序列占优势,其次为进积式向上变粗的沉积序列,这 2 种沉积序列在时空上往往同时并存.

值得指出的是,由于库车坳陷早第三纪处于干旱气候条件下,因此风的地质营力作用不应忽视,特别是在构造相对平静期,风力搬运来的细粒沉积物在湖盆内受到湖浪改造,以及南部细粒物源的凸现,形成了干旱—半干旱气候条件下较为发育的扇三角洲前缘亚相河口坝和席状砂的细粒砂质沉积(薛良清和 Galloway, 1991; 顾家裕和何斌, 1994; 李思田, 1996; 石占中和纪有亮, 2002; 孙龙德, 2004). 这是本区下第三系发育粗细间互沉积的主要原因之一.

三角洲相沉积主要发育于本区南部前缘隆起

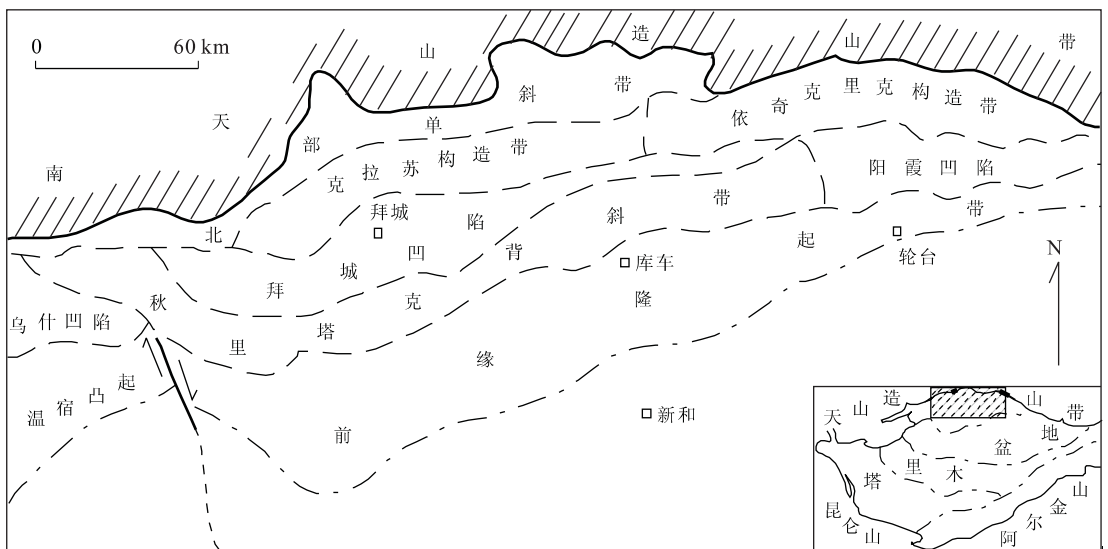


图 1 塔里木盆地库车坳陷地理位置及构造分区示意图

Fig. 1 Sketch of geologic location and tectonic sub-units

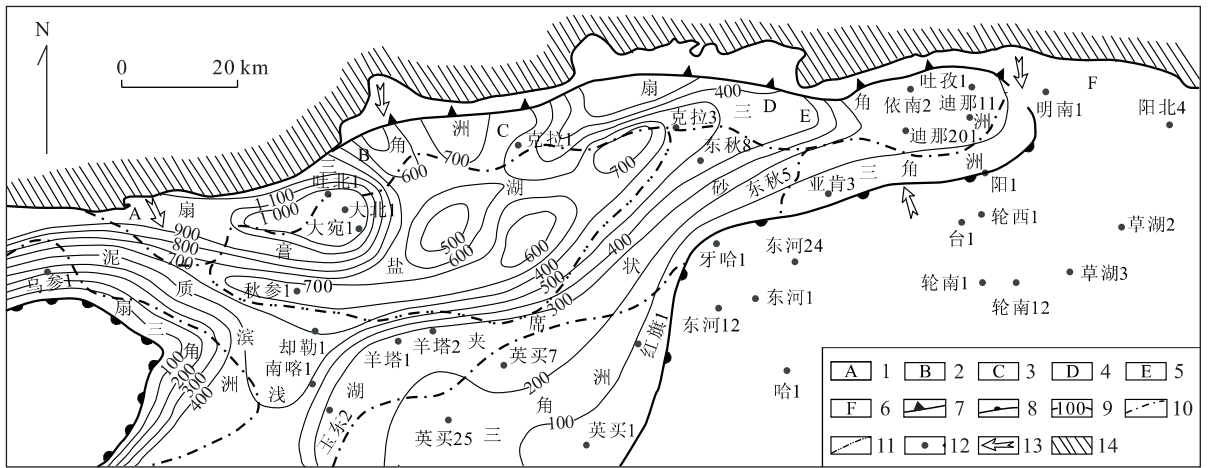


图 2 库车坳陷东部下第三系库姆格列木群沉积相分布

Fig. 2 Sedimentary facies distribution of the Lower Tertiary Kumugeliemu Group, eastern Kuqa depression of the Tarim basin  
 1. 阿瓦特河剖面; 2. 卡普沙良河剖面; 3. 克拉苏河剖面; 4. 库车河剖面; 5. 克孜勒努尔剖面; 6. 吐格爾明剖面; 7. 剥蚀尖灭线; 8. 超覆尖灭线; 9. 地层厚度等值线; 10. 相界线; 11. 亚相界线; 12. 井号; 13. 物源; 14. 造山带

表 1 库车坳陷东部下第三系储层岩石学特征对比

Table 1 Simplified correlation of petrologic characteristics of the Lower Tertiary reservoirs, eastern Kuqa depression of the Tarim basin

沉积相类型	主要岩性	碎屑组分含量(%)			杂基 (%)	胶结物 (%)	分选性
		石英	长石	岩屑			
扇三角洲	砂砾岩、含砾砂岩	29.4	10.8	59.8	5.1	13.7	差
三角洲	细砂岩、粉砂岩	65.8	21.1	13.1	3.8	12	好

带,与逆冲推覆带相比,地形较为平缓。在南部、东南部由河流携带沉积物经过较长距离的搬运,在湖盆中形成三角洲相。岩性主要由灰褐色粉砂岩、膏质细砂岩、细砂岩和少量褐红色泥岩和膏质泥岩组成旋回层系。除分流河道外,很少见到含砾砂岩。与本区扇三角洲相比,砂质骨架相的岩性较细,以细砂岩和粉砂岩为主,成分成熟度较高;分选中等(表 1);磨圆较好,呈次棱一次圆状。在垂向剖面上,表现出向上变细的正旋回序列、向上变粗的反旋回序列以及完整旋回沉积序列。

为了定量表征不同岩性的碎屑岩储层的储集特性,我们采用公式  $\phi_{原} = 20.91 + 22.9/S_0$  ( $S_0$  代表 TRASK 分选系数),对本区下第三系碎屑岩储层的原始孔隙度进行恢复(Gluyas and Coleman, 1993)。结果如表 2 所示,从表中不难看出,本区下第三系不同岩性的碎屑岩储层原始孔隙度有着较大差异,粗粒碎屑岩由于分选较差,使得其原始孔隙度甚至比细粒碎屑岩还要稍低。

## 2 同生期差异胶结作用使储层发生初始分异

下第三系沉积时,前陆逆冲推覆的阶段性活动使不同时期的沉积物主物源方向出现较大差异。构造相对活跃期形成的砂体的横向连续性好,结构成熟度和成分成熟度均较低;同时湖盆面积缩小,沉积水体浓缩使蒸发矿物沉淀,发育同沉积期胶结物,使原生储集空间损失较大。而在构造活动的相对停滞期,砂体横向连续性较差,成分成熟度和结构成熟度较高;此外,由于构造活跃期的剥蚀夷平,使得构造活动相对停滞期的古地形相对平坦,湖盆面积扩大,水体的盐度相对降低,同沉积期胶结物相对不发育,原生储集空间损失较小(图 3a,表 2)。

综上所述,构造活动的旋回性使得粗、细粒碎屑沉积时的水体物理化学性质出现较大差异,粗粒和细粒沉积物的储集性能因同沉积期胶结物发育和不发育而开始分异,并为后期的成岩分异和储层分异作用提供了物质基础。

表 2 库车坳陷东部下第三系储层孔隙度演变分析

Table 2 Simplified table of porosity evolution of the Lower Tertiary reservoirs, eastern Kuqa depression of the Tarim basin

储层岩性	样品数	恢复的原始孔隙度(%)	同生期胶结作用 损孔率(%)	埋藏期压实作用 损孔率(%)	浅埋藏胶结作用 损孔率(%)	埋藏溶蚀作用 增孔率(%)	现今孔隙度 (%)
粗粒碎屑岩	37	29.4	9.4	14.2	4.3	1.2	2.7
细粒碎屑岩	46	34.0	8.6	13.7	3.4	2.6	10.9

注:溶蚀作用增孔率根据铸体薄片观察估算.

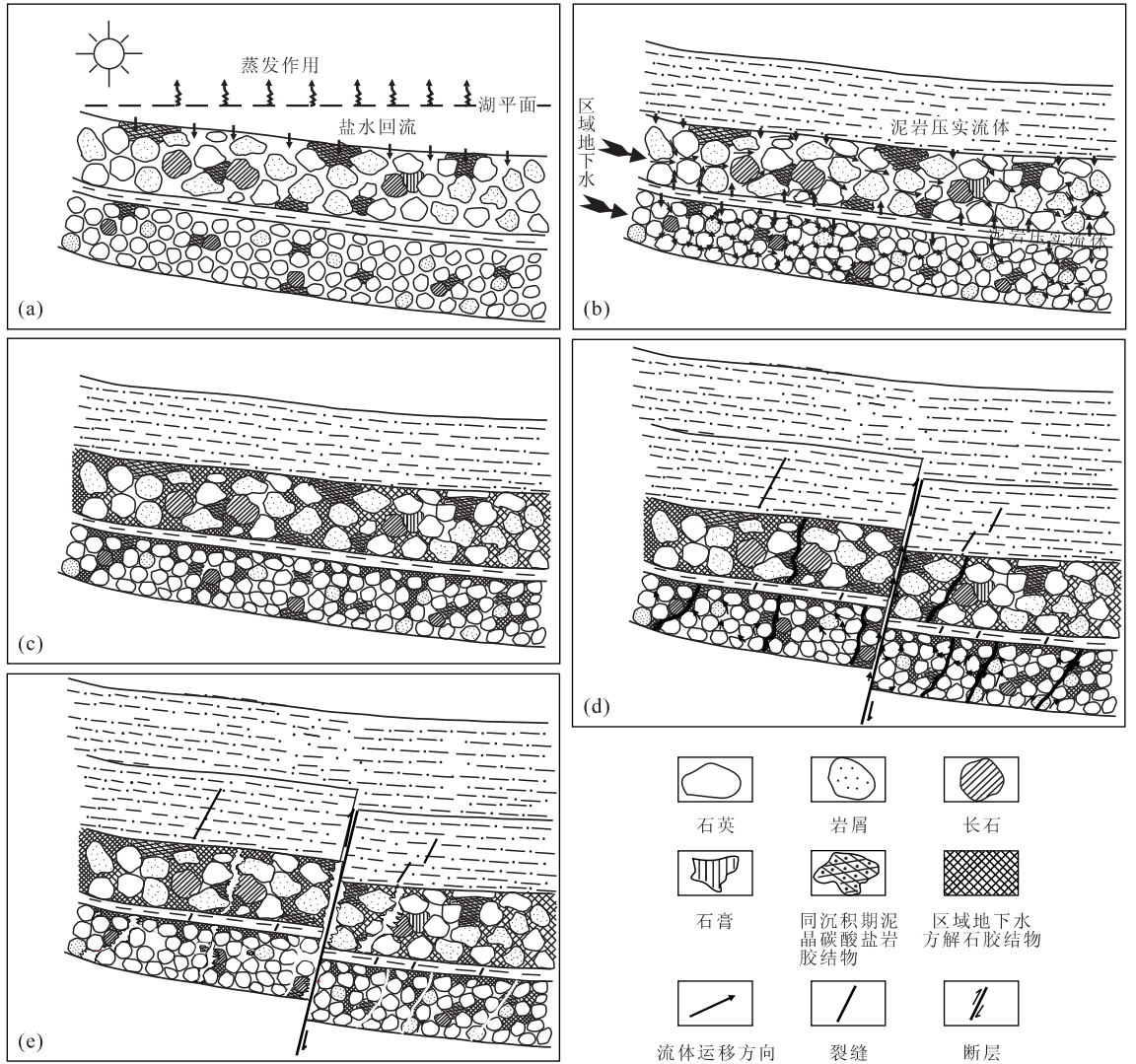


图 3 库车坳陷东部下第三系储层分异成因模式示意图

Fig. 3 Sketch showing the mechanism and models for the Lower Tertiary reservoir feature changes, eastern Kuqa depression of the Tarim basin

a. 构造与沉积作用决定储层的原始差异; b. 浅埋藏早期地下水与泥岩压实流体的不同活动特点是储层成岩分异的根本原因; c. 浅埋藏早期的胶结作用是储层分异的重要原因; d. 库车期的构造破裂作用和酸性流体侵入是储层成岩分异作用强化的基础; e. 油气进入的酸性流体溶蚀作用是储层成岩分异强化的关键时期, 储集空间面貌最终定型

### 3 浅埋藏期区域地下水胶结期是成岩和储层分异作用形成的关键时期

上第三系吉迪克组沉积中晚期, 下第三系地层

的埋深在 1 500 m 左右. 下第三系沉积物经受了初期压实作用, 使得粗粒与细粒沉积物的颗粒重组. 两种沉积物的喉道出现了较大的分异: 细粒沉积物的喉道较小; 而粗粒沉积物因初期压实作用对储集空

间的衰减影响不大,所以其喉道较粉砂岩要大得多。而吉迪克组沉积时的高盐度地表水影响了地下水性质,其极强的胶结能力导致了方解石胶结物发育(图 3c)。但是这种胶结作用是在早期成岩分异和储层分异的基础上进行的,是对经历上述阶段形成的沉积岩体的进一步成岩异化。因此,不同构造发育阶段形成的沉积物、不同组合关系的沉积物又具有不同的胶结物发育特征和规律。

从图 4 可以看出,真正粒序的单砂体,区域地下水胶结物含量与粒度呈正相关关系。造成这种现象的原因是:粉砂岩的物性特点是孔、喉较小,初期压实后,其成岩流体的运移方向总体上与区域地下水和压实流体的运移方向一致,但由于孔隙和喉道较小,流体在储层内的运移方向紊乱,储层内的成岩流体相对不活跃,物质交换通道不畅,使储层内的早期碳酸盐胶结作用进行不彻底;同时胶结作用很容易使喉道堵塞,成岩流体达到平衡后而使胶结作用终止,结果使储层中保存了大量的原生孔隙。较粗的砂岩储层在初期压实作用之后,物性特点是孔、喉较大,可以作为成岩流体的输导层,成岩流体的运移方向在宏观和微观上都与区域地下水和泥岩初期压实流体的方向一致,通畅的运移通道使物质交换能顺利进行,早期碳酸盐胶结物尤其发育,从而成为影响粗粒碎屑岩储层发育的主要因素,结果使粗粒碎屑岩储层原生孔隙保存较少(图 3c)。

粗、细粒碎屑岩储层与单个正粒序砂体的早期胶结作用发育机理是一致的,区域地下水胶结使两

种类型储层进一步分异(图 3b,3c,表 2)。另外,流体来源也会干扰成岩分异作用。受区域地下水影响的储层(大套的砂岩储层),胶结机理与上述分异一致;而受泥岩压实流体影响的储层(薄砂体和透镜状砂体),胶结物含量沿压实流体的运移方向衰减。

#### 4 构造破裂和埋藏溶蚀作用是储层分异作用强化的主导因素

经历上述成岩变化形成的储层面貌基本构成,细粒碎屑岩胶结相对不致密,原生孔隙相对较多;而粗粒碎屑岩储层的胶结相对致密,原生孔隙保存相对较少。在中—深埋藏阶段,主要成岩作用为压实作用,粉砂岩由于其刚性颗粒含量较高,压实作用使原生孔隙空间损失较小;粗粒碎屑岩软颗粒含量较高,压实作用使原生孔隙空间损失较大,2 种岩性的原生储集空间的差异加大,压实作用使储层分异进一步加剧。

库车期(5.3 Ma)的构造挤压,使裂缝开始形成。岩心观察发现,本区细粒碎屑岩比粗粒碎屑岩裂缝发育。这是因为原生孔隙保存的差异,导致 2 种岩性对应力的敏感程度出现较大的差异,比较而言,原生孔隙保存较多的细粒砂岩储层为强感层,更容易产生裂缝(图 3d)。

这一次裂缝形成伴随着本区最后一次油气运移的发生,油气运移前的酸性流体沿裂缝体系流动,并对附近储层产生相应的溶蚀。细粒粉砂岩储层不仅原生孔隙保存比较多,而且裂缝更发育,储层内部的流体运移通道较粗粒的碎屑岩储层更多,溶蚀作用更容易进行,溶蚀作用扩大的储集空间也比粗粒碎屑岩更多(图 3e)。从而基本上形成了库车坳陷东部下第三系现今的储集面貌,即细粒粉砂岩储层比粗粒的砂岩、砾岩储层储集性能要好得多(表 2)。

最后一次油气进入后,由于构造挤压作用的影响,下第三系储层逐渐形成一个超压的封闭体系,流体的运移和物质交换停止,各种成岩作用对储集体的改造也趋于停止,本区下第三系现今的储集面貌得以最终形成。

#### 5 结论

(1)下第三系粗、细粒储层沉积后经历了同沉积、浅埋藏区域地下水、中深埋藏压实、构造破裂、埋

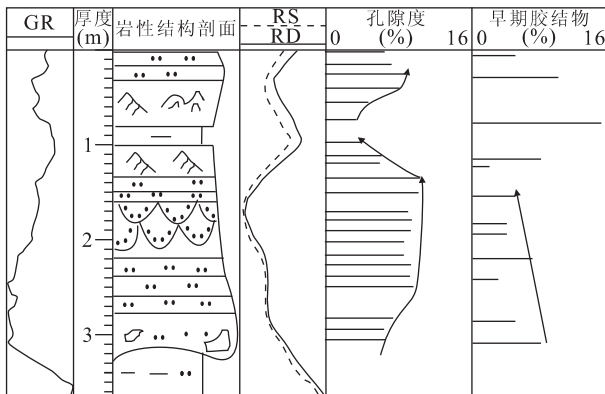


图 4 库车坳陷东部下第三系储层单个正粒序砂体早期胶结物含量与孔隙度的关系(迪那 201 井)

Fig. 4 Correlation of cement content and porosity during the early diagenesis of the Lower Tertiary reservoir sandstone, eastern Kuqa depression of the Tarim basin (DN201)

藏溶蚀、构造挤压与超压形成等多阶段的叠合改造。(2)不同成岩阶段叠合改造的结果使储层储集空间特征出现较大分异,即初期储集性能稍好的细粒碎屑岩储层向着好的方向发展,初期储集性能较差(因分选差)的粗粒储层向差的方向发展。(3)根据构造活动、古气候、沉积及成岩等因素建立的储层成因演化模式较合理的解释了本区下第三系储层主要发育在细粒碎屑岩中,对类似研究具有重要的参考意义。

## References

- Gier, S., 2000. Clay mineral and organic diagenesis of the Lower Oligocene Schöneck fish shale, western Austrian Molasse basin. *Clay Minerals*, 35:709—719.
- Gluyas, J. G., Coleman, M. L., 1993. Geochemical evidence for a temporal control on sandstone cementation. In: Horbury, A. D., Robinson, A. G., eds., Diagenesis and basin development. *AAPG Studies Geol.*, 36:23—35.
- Gu, J. Y., He, B., 1994. Study on Triassic fan delta sedimentation and reservoir in Lunan area, Tarim basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 12(2): 54—62 (in Chinese with English abstract).
- Jia, C. Z., 1997. Tectonics and petroleum accumulation in the Tarim basin, NW China. Petroleum Industry Press, Beijing, 232—240 (in Chinese).
- Ketzer, J. M., Morad, S., Evans, R., et al., 2002. Distribution of diagenetic alterations in fluvial, deltaic and shallow marine sandstones within a sequence stratigraphic framework: Evidence from the Mullaghmore Formation (Carboniferous), NW Ireland. *Journal of Sedimentary Research*, 72:760—774.
- Kuang, H. W., Gao, Z. Z., Zhai, Y. H., et al., 2003. Characteristics of Tertiary reservoir in Kuqa depression of Tarim basin. *Acta Petrolei Sinica*, 24(1): 25—30 (in Chinese with English abstract).
- Li, S. T., 1996. Study on depositional system of bearing source basin. China University of Geosciences Press, Wuhan (in Chinese).
- Li, W. F., Gao, Z. Z., Peng, D. T., et al., 1996. Sedimentary features and model of Neogene oxidative, broad and shallow brine lake in Tarim basin. *Journal of Jianghan Petroleum Institute*, 18(2): 31—35 (in Chinese with English abstract).
- Lin, C. S., Liu J. Y., Zhang, Y. M., et al., 2002. The characteristics of Eocene tectonic sequence stratigraphy and effect on response of foreland tectonic movement of the Palaeogene Kuqa depression. *Science in China (Series D)*, 32(3): 177—183 (in Chinese).
- Liu, J. Y., Lin, C. S., Li, X. C., et al., 2003. High resolution

- sequence stratigraphic study of the Palaeogene Kumugel-iemu and its significance in oil and gas exploration in the Kuqa depression. *Acta Geoscientia Sinica*, 24(5): 429—434 (in Chinese with English abstract).
- Sachsenhofer, R. F., Gratzer, R., Tschelaut, W., et al., 2006. Characteristics of non-productive oil in Eocene reservoir sandstones (Bad Hall Nord field, Alpine foreland basin, Austria). *Marine and Petroleum Geology*, 23(1): 1—15.
- Shi, Z. Z., Ji, Y. L., 2002. Fan-delta sedimentation formed under the environment of lake level frequently varying. *Journal of Xi'an Petroleum Institute*, 17(1): 24—27 (in Chinese with English abstract).
- Sun, L. D., 2004. Sedimentary facies and exploration of the Early Cretaceous in Kuqa depression and southwest depression in Tarim basin. *Journal of Palaeogeography*, 6(2): 252—260 (in Chinese with English abstract).
- Surdam, R. C., Crossley, L. J., Hagen, E. S., et al., 1989. Organic-inorganic interaction and sandstone diagenesis. *AAPG Bulletin*, 73: 1—23.
- Xue, L. Q., Galloway, W. E., 1991. Classification of fan delta, braided river delta and delta system. *Acta Geologica Sinica*, 65(2): 141—153 (in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 顾家裕,何斌,1994.塔里木盆地轮南地区三叠系扇三角洲沉积.沉积学报,12(2): 54—62.
- 贾承造,1997.中国塔里木盆地构造特征与油气.北京:石油工业出版社,232—240.
- 旷红伟,高振中,翟永红,等,2003.塔里木盆地库车坳陷第三系储层特征研究.石油学报,24(1): 25—30.
- 李思田,1996.含能源盆地沉积体系研究.武汉:中国地质大学出版社.
- 李维锋,高振中,彭德堂,等,1996.塔里木盆地晚第三纪坳陷型氧化宽浅盐湖沉积特征及模式.江汉石油学院学报,18(2): 31—35.
- 林畅松,刘景彦,张燕梅,等,2002.库车坳陷第三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.
- 刘景彦,林畅松,李喜臣,等,2003.库车坳陷古近系库姆格列木组高精度层序地层分析及其勘探意义.地球学报,24(5): 429—434.
- 石占中,纪有亮,2002.湖平面频繁变化环境下的扇三角洲沉积.西安石油学院学报,17(1): 24—27.
- 孙龙德,2004.塔里木盆地库车坳陷与塔西南坳陷早白垩世沉积相与油气勘探.古地理学报,6(2): 252—260.
- 薛良清, Galloway, W. E., 1991. 扇三角洲、辫状河三角洲与三角洲体系的分类.地质学报,65(2): 141—153.