

文章编号:1000-0550(1999)增-0752-06

塔里木盆地库车坳陷新生界终端扇沉积体系与储层研究

朱如凯¹ 魏伟² 张运东³

1(中国石油天然气集团公司油气储层重点实验室 北京 100083) 2(塔里木石油勘探开发指挥部 新疆库尔勒 841000)
3(中国石油天然气集团公司石油经济和信息中心 北京 100011)

摘要 塔里木盆地库车坳陷新生界沉积时期气候干燥,沉积物主要为陆相碎屑岩。根据岩石学、沉积构造、沉积相序组合等分析,认为其沉积体系为终端扇体系,发育补给带、分流带、盆地三种主要相组合类型。结合储层成岩作用、储集空间、储集物性等的综合分析,认为下第三系储层质量较差,上第三系好储层主要发育于北部地区。

关键词 库车坳陷 终端扇 储层评价

第一作者简介 朱如凯 男 1968年出生 高级工程师 北京大学 博士 粘土矿物学和沉积学

中图分类号 P534.6;P512.2 **文献标识码** A

1 地质背景

库车坳陷位于塔里木盆地北部,毗邻天山褶皱系,北面是南天山山前断裂带,南面是塔北隆起,坳陷走向呈北东东向展布,面积 $1.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。库车坳陷经历了多期构造运动,但构造主要受燕山期、喜山期两幕构造运动控制,并相应地形成了现今四带三凹的构造格局,即:北部单斜带、直线背斜带、秋里塔克背斜带、南部平缓背斜带及拜城凹陷、阳霞凹陷、乌什凹陷。

区内分布广泛的新生界地层,地层层序完整(表1)。

2 第三系终端扇沉积体系

2.1 终端扇(Terminal fans)沉积体系特征

终端扇指正常条件下水系由于内在因素全部消失而没有水流通过表面流进入湖泊或海洋的河成分流体系^[1,2]。河流由于蒸发作用和载荷损失在大小和规模上减少,常发育于水分缺失的干旱和半干旱地区,包括河道分支成网状和水系通过蒸发作用和渗流作用而消失两个过程。终端扇不同于一般意义上的冲积扇,其主要区别在于冲积扇一般是由于区域

基准面的快速下降(如山的前缘)而导致重力载荷沉积物在流经山涧或山谷后进入平原地带,而终端扇的补给河流是活动的,并不局限于山漳或山谷,其发育主要是因为高的蒸发作用、低的降水量和高的渗流量。

表1 库车坳陷新生界地层系统表
Table 1 Stratigraphic system of Cenozoic in kuche depression

		地层		岩性
上第三系	上覆地层	西域组		
	上新统	库车组		砂砾岩与粉砂质泥岩、泥岩韵律互层
		中新统	康村组	
	吉迪克组		紫红色砂岩、砂泥岩、膏质泥岩、钙质泥岩互层,东部发育膏盐岩层	
下第三系	渐新统	苏维依组	阿瓦特组	砂岩、粉砂岩、泥岩及石膏互层
	始新统	库姆格列木组	小库孜拜组	下部为泥晶灰岩、砾状灰岩、砾岩、石膏岩,上部为紫红色块状岩屑砂岩、砾岩、长石岩屑砂岩,夹粉砂质泥岩及含砾泥岩
			塔拉克组	

终端扇的重要特征是其一般分为补给带,分流带和盆地。补给带为大的河道与河道间细粒沉积;河道沉积多于河道间沉积,主要相组合为单层或多

层河道砂/砾岩体,厚数十米,宽数百米,河道体的增加可能出现在补给带与分流带的过渡地带,反映顺流方向河道的分叉。分流带由于顺流方向河道沉积规模和频率的减少而出现片洪沉积,砂体连续性沿顺流方向减少,但砂为主的片洪沉积能够形成侧向连续性好的砂体,主要相组合为河道砂体+片洪砂+风成沉积,厚2 m至100 m,宽数十米至数百米。盆地主要发育洪泛盆地、干盐湖泥坪或风成沉积。古代终端扇体系厚度大(数百米至数千米),堆积在近山前的小型盆地中($<10^5 \text{ km}^2$)。

2.2 岩相组合

岩相组合 1(FA1)

主要由一套杂色、灰色、浅灰色块状砾岩与褐色、黄褐色泥质粉砂岩、粉砂质泥岩组成正韵律沉积(图 1 -a),韵律层厚 3~20 m,其中砾岩层厚 1.0~15 m。砾岩层主要为河道沉积,粉砂质泥岩与泥质

粉砂岩为河道间沉积,为终端扇补给带沉积。

岩相组合 2(FA2)

岩性组成与 FA1 相似,只是砾岩层薄,一般厚 1~4 m,细粒沉积泥质粉砂岩、粉砂质泥岩厚度大 2~10 m(图 1 -b)。其中砾岩层为分支河道沉积,细粒沉积则为河道间沉积,总体为终端扇分流带近端沉积。

岩相组合 3(FA3)

主要由一套杂色、浅灰色细砾岩、砾状砂岩、不等粒砂岩与褐色粉砂岩、泥质粉砂岩、砂质泥岩的韵律互层(图 1 -c),砾岩层厚 1~2.5 m,为分支河道沉积,细粒沉积厚度大,主要为河道间、洪泛平原及越岸沉积,其中块状细砂岩可能为片流沉积。

岩相组合 4(FA4)

由褐色、灰褐色厚层块状不等粒砂岩、中粗砂岩、砾状砂岩、细砂岩组成,其褐色泥岩、泥质粉砂岩

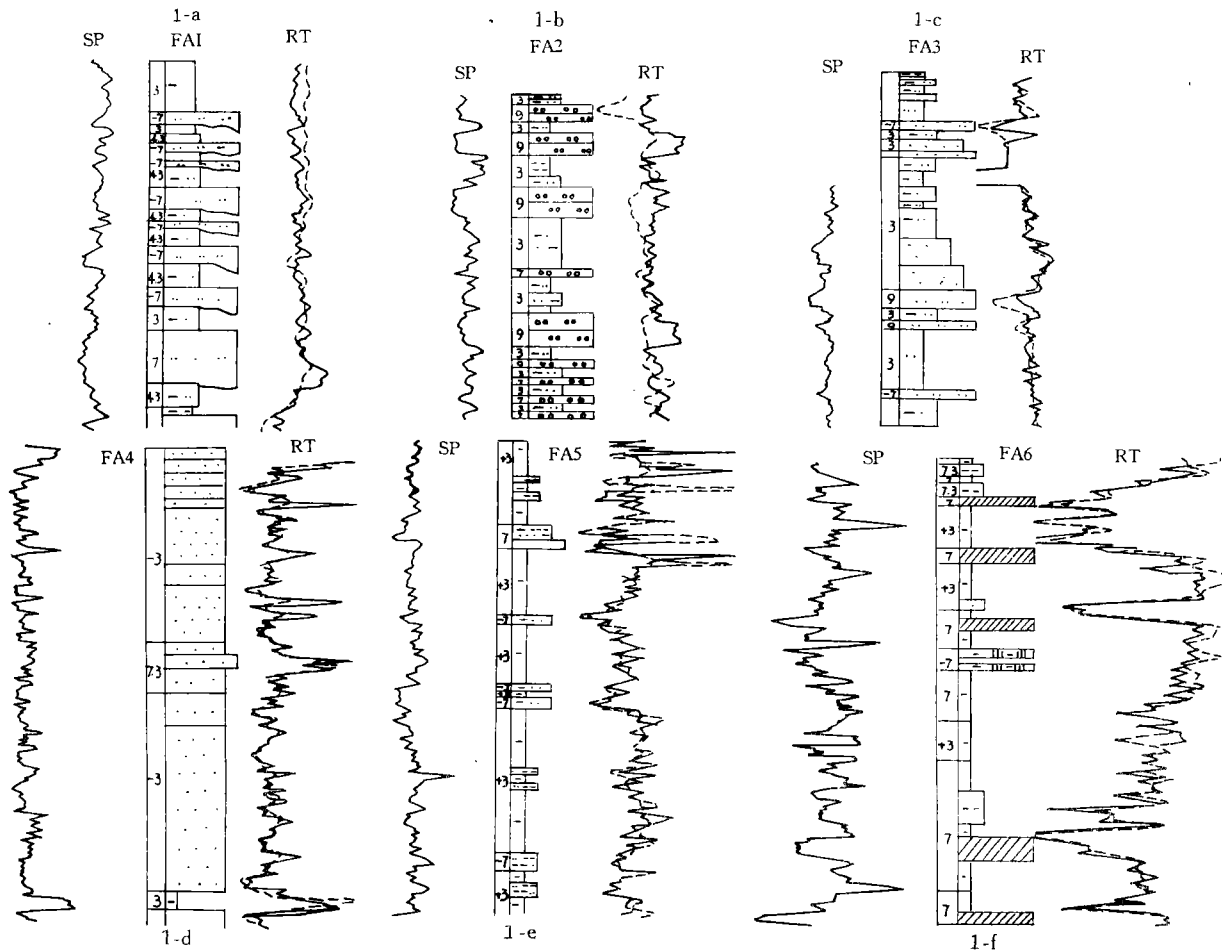


图 1 库车地区岩相组合典型相序图

Fig. 1 The typical lithologic association of the Kuche depression

及粉砂岩薄层(图1-d),为河道和片洪流沉积。

岩相组合5(FA5)

主要由厚层深褐色、褐色泥岩与中厚层状粉砂质泥岩、泥质粉砂岩组成韵律层(图1-e),泥岩中局部含膏,为终端扇盆地带洪泛平原沉积。

岩相组合6(FA6)

主要中厚层状灰色盐岩、膏盐岩、泥膏岩、膏岩与褐色、灰色泥岩、膏质泥岩、粉砂质泥岩组成韵律层(图1-f),为终端扇盆地带干盐湖、蒸发泻湖沉积。

2.3 岩相组合分布特征

早第三纪沉积是在天山山前拗陷范围内的盆地中进行的,有来自西部的特提斯海侵的影响,发育的主要岩相组合为FA6+FA5+FA1+FA3+FA2,其中FA1+FA2+FA3组合主要出现在下部地层中。

平面上,卡普沙良地区至克拉苏地区和库车河以东地区岩相组合为FA1+FA2+FA5,发育终端扇补给带和分流带沉积,发育河流、洪泛平原等沉积亚相。从阿瓦提至亚肯构造带的南部广大地区,主要岩相组合为FA6+FA5,为盆地干盐湖和洪泛平原沉积(图2-a)。

晚第三纪吉迪克组沉积时期,北部山前带西部从阿瓦特至库车河地区,主要岩相组合为FA1+FA2+FA5,发育补给河道、分流河道、洪泛平原等亚相沉积;山前带东部地区和南部广大地区主要岩相组合为FA5+FA6,主要为盆地干盐湖和洪泛平原沉积(图2-b)。

康村组沉积时期,北部山前带从阿瓦特至克拉苏地区,主要岩相组合为FA1+FA2+FA3,发育终端扇补给河道、分流河道沉积。南部和东部广大地区,主要岩相组合为FA5+FA4,为洪泛平原沉积,局部出现有风成砂沉积(图2-c)。

库车组沉积时期,终端扇补给带、分流带主要发育于西部阿瓦特至米斯布拉克地区,岩相组合为FA1+FA2+FA3;东部和南部广大地区主体沉积相为洪泛平原沉积,岩相组合为FA5(图2-d)。

2.4 沉积相模式

根据前面岩相组合分析,库车拗陷第三纪主体沉积特征为冲积-洪泛平原体系。岩相组合韵律层厚度、层系组厚度、河道砂体频率和最大砂体厚度发生周期性的变化,厚度为150~200m左右,这种旋回性变化可能与412Ma轨道偏心旋回对应;而600~700m厚的长周期变化则可能与盆地沉降旋回对应。

相模式为近源山区带低弯度补给河道提供丰富的砾质、砂质沉积物至冲积平原(图3)。顺流方向,为活动的低弯度多层砂体叠加的河道沉积,细粒砂和粉砂沉积于低能的洪泛平原。进一步沿流而下,沉积了高能洪水流产物和低能的浅洪泛沉积、干盐湖沉积或无沉积作用。

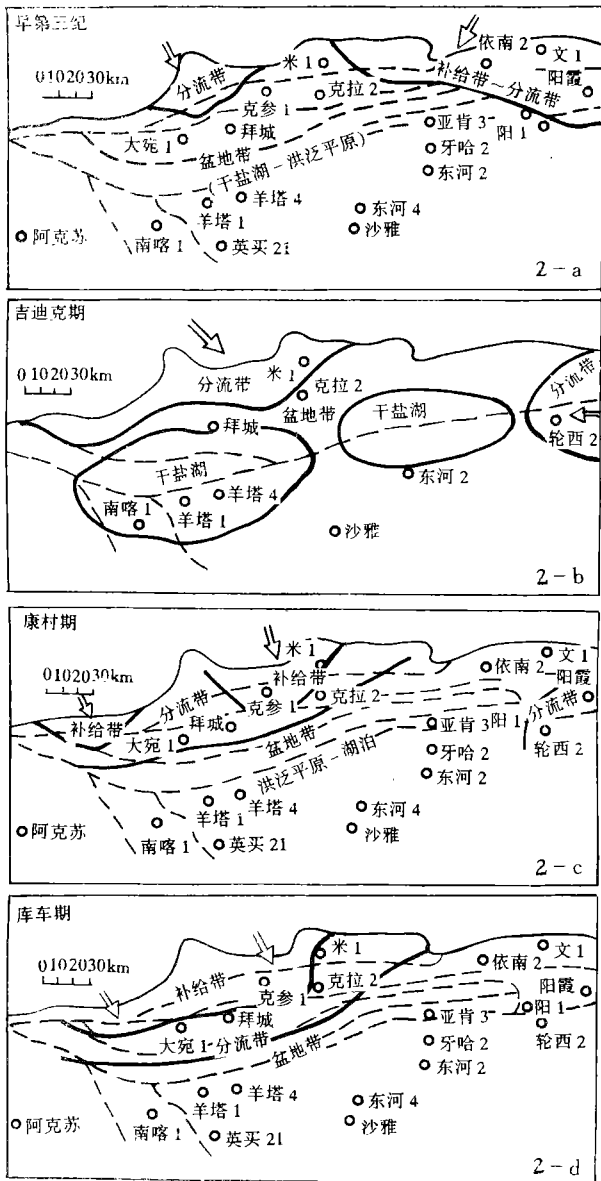


图2 库车地区沉积体系分布图

Fig. 2 The depositional system of Tertiary in Kuiche depression

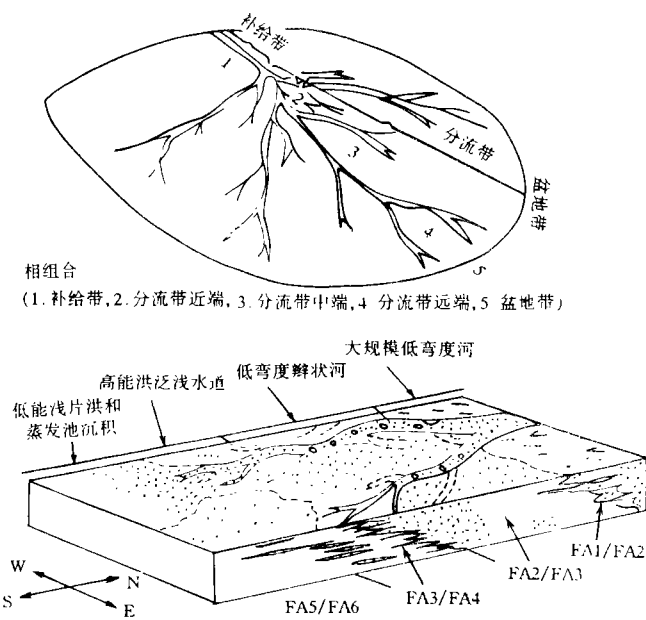


图3 库车坳陷第三纪终端扇沉积相模式示意图

Fig. 3 The terminal for model of Tertiary in kuche depression

3 储层特征与评价

3.1 储集体与储集岩石学特征

库车坳陷新生界各层系储层较发育,西部大宛齐油田上第三系储层中获工业油气流,克拉苏构造发现大气藏,储层分布范围广,厚度变化大,岩性以陆源碎屑岩为主,碎屑岩中石英含量普遍较低,一般10.1%~58.5%,岩屑含量较高,58%~84.3%。分选系数为1.43~2.42,粒度中值一般0.05~0.24 mm,磨圆为次棱角一次圆状,孔隙式、基底一孔隙式胶结,颗粒之间点、线状接触。

填隙物总量19.2%~39.47%,其中胶结物为1%~18%,成份为硬石膏、方解石、白云石、方沸石;杂基为铁染泥质。

碳酸盐胶结物有两种产状:①呈颗粒细小的自形晶,生长在砂岩孔隙中,成份以方解石为主,常与自形方沸石共生。②呈它形填隙产出并交代碎屑,是一种主要的产出形式;常交代岩屑、长石甚至石英,和绿泥石共生,有时与硬石膏共生。方沸石、石膏、硬石膏在上第三系下部出现频率最高。

粘土矿物在上第三系主要为伊利石、伊/蒙混层矿物,次为绿泥石和少量高岭石。在下第三系主要为伊利石、伊/蒙混层矿物,其次为绿泥石、高岭石、绿/蒙混层矿物。

3.2 成岩作用与成岩阶段划分

机械压实作用、方解石的充填作用和陆源碳酸盐颗粒的压溶再沉淀作用是对储层质量影响最大的成岩作用。方沸石、石膏、硬石膏和硅质的充填则由于含量低而对储层影响小,而溶蚀作用则为一种建设性成岩作用。

根据库车地区碎屑岩成岩作用特征及地温资料等,确定研究区成岩作用可以划分为以下阶段:①同生成岩阶段,②早成岩A期,埋深一般小于2 200 m,③早成岩B期,埋深小于3 100 m,④晚成岩阶段,埋深大于3 100 m,层位为下第三系。

3.3 储集空间成因类型

研究区碎屑岩孔隙类型复杂,原生孔隙包括剩余原生粒间孔、基质微孔隙、收缩孔隙、晶间孔隙、粒内孔隙;次生孔隙包括粒间溶孔、颗粒溶孔、压溶线状缝及铸模孔隙,构造孔隙为在构造营力作用下产生的碎裂、裂缝。

下第三系以粒间溶孔为主,亚肯3井构造缝较发育,占46.15%;面孔率1.05%~3.9%,最大孔径30~150 μm,孔喉半径分布在0.293~9.375 μm之间,喉道偏细。

上第三系粒间孔占优势,其次为粒间溶孔、粒内溶孔、少量基质溶孔,面孔率3%~16.68%,最大孔径710 μm,孔喉半径平均0.4~16 μm,最大连通孔喉半径一般在1.4~27.74 μm之间,喉道半径相对增大。

3.4 储层综合评价

(1) 储层评价标准的建立

a. 储层评价物性标准

以库车地区勘探及地面露头资料为基础,将库车坳陷储层物性分为四类(表2)。

表2 库车坳陷碎屑岩储层物性分类标准

Table 2 The reservoir division standard of clastic rocks in Kuche depression

级别	类型	孔隙度/%	渗透率/ $\times 10^{-2} \mu\text{m}^2$
高孔、高渗	I	>18	>100
中孔、中渗	II	18~14	100~10
低孔、低渗	III	14~6	10~1
特低孔、特低渗	IV	<6	<1

b. 储层评价沉积标准

单层厚度、粒级大小、杂基含量主要由沉积相带

控制。近物源区补给带,一般为快速堆积,沉积物主要为砾岩,但分选性差,杂基含量也高,储集性能差。分流带沉积水动力条件有一定减弱,但仍表现为较强的水动力条件,沉积物主要表现为砂砾级,单层厚度大、砂层厚度也大,砂岩的成份成熟度和结构成熟度均相应提高,储集性能较好,应为寻找优质储层的理想相带;风成砂则表现出更高的结构成熟度和好的分选性,其储集性能也是好的。盆地沉积水动力条件很弱,砂岩粒度小,一般为细砂—粉砂级,单层厚度薄,砂岩百分含量很低,储层不发育。根据以上分析,特制定库车地区碎屑岩储层沉积相评价标准(表3)。

表3 库车地区碎屑岩储层沉积相评价标准
Table 3 The reservoir facies standard of clastic rocks
in Kuche depression

级别	沉积相、沉积微相
I ~ I	辫状河道、曲流河道、分流河道、三角洲前缘、片流砂、风成砂
I ~ II	补给河道、浅湖砂、漫溢砂、越岸沉积
IV	洪泛平原、干盐湖、浅湖~半深湖

c. 储层评价成岩标准

储层物性好坏除与沉积相有关外,还与成岩作用有关,成岩作用主要受埋深、地温、时间控制。一个地区的地温梯度直接控制了成岩期水岩反应,并影响了次生孔隙带的埋深。根据大宛齐井温资料编绘的地温变化曲线,可以看出地温梯度稳定在 25℃/km 左右。从孔隙度随埋深的演化图看,大宛齐地区上第三系储层性质随埋深增大而变差十分明显,砂岩埋深大于 2 000 m,粉砂岩埋深超过 1 000 m 就基本无渗透率大于 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的储层存在,这一变化不仅受压实作用控制,还明显受储层中碳酸盐颗粒压溶和方解石沉淀作用的控制。

(2) 储层综合评价

下第三系西厚东薄。从沉积体系分布图上看,北部卡普沙良和东北部库车河至吐格尔明一带为补给带—分流带沉积,沉积物粒度粗,砂层相对发育。综合分析认为应该为好储层发育地区;南部广大地区,为盆地带细碎屑沉积,砂体发育较差,埋深又较大,储层物性差,孔隙度为 6.02%~7.27%,渗透率 $1.42 \times 10^{-3} \sim 15.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。往南至坳陷前缘轮台凸起物性变好,孔隙度 11%~20%,渗透率 $10 \times 10^{-3} \sim 3.047 \times 10^{-5} \mu\text{m}^2$ 。

上第三系地层厚度大,从沉积相带分布来看,北

部地区处于补给带和分流带,并且从吉迪克组至库车组,沉积中心不断向盆地内迁移,补给带、分流带的分布范围不断扩大、沉积物粒度也变粗,在克拉苏地区,库车组、康村组主要为砾岩沉积,物性相对较差。往南至拜城凹陷大宛齐上第三系康村组处于分流带,储层物性较好,如上第三系吉迪克组在坳陷北部孔隙度 7%~21%,渗透率 $4 \times 10^{-3} \sim 41 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;南部孔隙度 9%~14%,渗透率 $3 \times 10^{-3} \sim 321 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;坳陷前缘的轮台凸起,孔隙度 8%~19%,渗透率 $4 \times 10^{-3} \sim 381 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,有由北往南储层物性逐渐变差的趋势。康村组在坳陷北部及直线背斜带以砾岩、砂岩为主,岩性向南变细,砂岩呈指状交互,延伸范围较窄,物性横向变化大,不稳定。如大宛齐油田康村组,孔隙度 7%~31%,渗透率 $1 \times 10^{-3} \sim 5\,000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。直方图中,物性分布缺乏稳定的优势值,评价为 I 类好储层。向东至秋立塔克背斜、南部平缓背斜、阳霞凹陷处于盆地沉积环境,砂岩储层不发育,碎屑岩中泥质、膏质含量较高,灰质胶结,埋深又大,物性较差,评价为 II—III 类中—差储层。

往南至塔北隆起,地层底界等深线稀疏,反映构造平缓、基底稳定的地质背景,出现有风成砂坪沉积,应为优质储层发育的地区,这从塔北隆起钻井地层可以证实。

4 主要结论

(1) 库车坳陷第三纪为干旱气候条件下的终端扇沉积体系。

(2) 早第三纪干盐湖主要发育于西部拜城—秋立塔克地区,晚第三纪吉迪克沉积时期,干盐湖主要发育于东部地区。

(3) 碎屑岩储集体主要为分流带分流河道砂体、片流砂及风成砂体,但分流带砂体横向连续性差。

(4) 碎屑岩储层物性影响主要因素是沉积相带控制的粒度、填隙物总量等。而埋深是影响储层的另一重要因素,并确定埋深 4 500 m 为库车坳陷储层发育的下限线。

(5) 下第三系储层由于泥质、膏质、碳酸盐含量高而物性太差。上第三系应以北部偏南地区为分流带砂体为主要目的层。

参 考 文 献

- 1 Sean B. Kelly and Henrik Olsen. Terminal fans—a review with reference to Devonian example[J]. Sedimentary Geology. 1993, 85: 339

The Study on the Terminal Fans and Reservoir Quality during Neozoic Era in Kuche down Warping Region in Tarim Basin

ZHU Ru-kai¹ WEI Wei² ZHANG Yun-dong³

1(CNPC Key Laboratory for Oil and Gas Reservoirs, Beijing 100083)

2(Research Center of Exploration, Tarim Petroleum Exploration and Development Headquarters, Korla Xinjiang 841000)

3(Petroleum Economics & Information Research Center, CNPC Beijing 100011)

Abstract

The Neozoic Era strata deposits are mainly terrigenous clastics which formed in arid or semiarid regions in Kuche down warping region in Tarim basin. There are six lithologic associations during Neogene period in Kuche depression. The lithologic association during Paleogene period is FA6+FA5+FA1+FA3+FA2. The main lithologic association during Jidike period in the north area is FA1+FA2+FA5, and in the south area is FA5+FA6. The main lithologic association during Kongchong period in the north area is FA1+FA2+FA3, and in the south area is FA5+FA4. The main lithologic association during Kuche period in the north area is FA1+FA2+FA3, and in the east and south area is FA5. The sedimentary system is regarded as terminal fans by petrology, sedimentary structure and the depositional sequence. The model includes a tripartite zonation of terminal fans into feeder, distributary and basinal zones. The feeder zone is characterized by a downstream decrease in both the scale and frequency of channel deposits, which are mainly replaced by sheetflood deposits. The basinal zone is made up of floodbasin, playa mudflat or aeolian-originated deposits.

The lithologic type is mainly terrigenous clastics. The content of quartz is 10.1%~58.5%, of the terminal fan lithic fragment is 58%~84.3%, interstitial materials is 19.2%~39.4%, cement is 1%~18%, that include anhydrite, calcite, dolomite and analcudite. The primary pore types are primary intergranular pore, matrix micropore, shrinkage pore, intercrystal pore and inner granular pore. The secondary pore type include intergranular solution pore, granular solution pore, fracture etc. Integrated with the diagenesis, reservoir space, porosity and permeability, the reservoir quality of lower Tertiary strata is poor and the better reservoir during Neogene period developed in the northern area in Kuche down warping region.

Key words Kuche down warping region terminal fans reservoir quality