

文章编号: 1000-0550(2013)02-0282-09

库车坳陷中部新近系—第四系砾岩层的沉积特征及分布规律^①

王招明¹ 钟大康² 孙海涛² 杨海军¹ 谢会文¹ 李勇¹
雷刚林¹ 杨宪彰¹ 吴庆宽¹ 张博宁³

(1. 中国石油塔里木油田分公司 新疆库尔勒 841000; 2. 中国石油大学 北京 102249; 3. 长江大学 湖北荆州 434023)

摘要 为了解决库车坳陷新近系—第四系砾岩层引起的速度变化和工程决策问题,利用砾岩层野外露头 and 钻井岩屑等资料,对砾岩层的沉积特征及分布规律进行了系统研究。分别对野外砾岩层和钻井岩屑的厚度、岩性、结构构造及砾石成分进行统计分析,在区域上对各层系的砾岩层进行划分和对比。认为库车坳陷新近系—第四系砾岩层可以划分为四期,具有冲积扇、扇三角洲及冲积平原三种沉积成因,它们的规模、水动力条件及沉积构造等具有较大差异。以冲积扇砾岩层规模大,发育四大物源体系,各物源体系的砾石成分分区明显,砾石粒径随相带分异。库车坳陷砾岩层整体具有纵向上多期次连续发育、相带差异明显,横向上相变快、集中分布的特点,新生代构造演化、构造样式及南北向断裂是控制砾岩层发育、沉积特点及分布规律的主要因素。

关键词 库车坳陷 冲积扇 砾岩层 沉积特征 控制因素

第一作者简介 王招明 男 1955年出生 教授级高级工程师 油气勘探 E-mail: wzm-tlm@petrochina.com.cn

通讯作者 钟大康 zhongdakang@263.net

中图分类号 P512.2 TE121.3 **文献标志码** A

库车坳陷克拉2气田获得突破后,在向西南开勘探的过程中,发现坳陷中部新近系—第四系发育了上千米的砾岩层,包括前人野外调查过程中发现的西域砾岩^[1~5],而目前对这套砾岩层的具体特征和分布规律尚未有明确认识,这成为了勘探部署及工程决策的阻力。因为这套砾岩层的分布规律不清楚,所以地震资料采集困难,且难以把握砾岩层引起的速度变化规律,导致下伏目的层的地震层位预测和圈闭落实精度减小;再者,砾岩层中的砾石成分复杂,有些可钻性差的砾石强烈磨损钻具,增加了钻前钻头选型的难度^[6]。在调研过程中,发现无论是西域砾岩还是相邻其他砾岩层的沉积特征和分布规律研究很少,而这套砾岩层的分布特征可以为坳陷晚期前陆盆地演化阶段的构造演化研究提供证据和补充^[7,8]。为此,有必要对坳陷内浅层新近系—第四系这套砾岩层进行系统地研究。

由于砾岩层并不是油气勘探目的层,所以它的实际资料不多,几乎没有岩芯,大部分探井都缺失该层位的岩屑录井,仅有常规测井曲线(伽马、电位、声波和三电阻),部分探井有岩屑录井,因此野外露头就

成为了最好最直观的证据,通过对砾岩层露头的观察,结合部分钻井揭示砾岩层的特征,研究砾岩层的纵向分布层系有几套、横向分布范围有多广,砾石的大小、成分等在平面上如何变化等问题,为下一步在砾岩层发育地区的勘探部署工作提供有力的帮助。

1 库车坳陷砾岩层形成的地质背景

库车坳陷位于塔里木盆地北部的天山南麓,总面积约 $2.8 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[9](图1),研究区主要是库车坳陷中部,西至木扎尔特河,东至克孜勒努尔沟,南至秋里塔格构造带。该区中生界发育侏罗系和白垩系,新生代自下而上发育古近系库姆格列木群、苏维依组、新近系吉迪克组、康村组、库车组和第四系(包括西域组和 Q_{3+4})^[1],第四系在局部地区缺失,与下伏新近系呈角度不整合接触。

自喜山运动中期(中新世末)以来,库车坳陷经历了多期强烈的构造运动,坳陷不断向南逆冲,南天山不断隆升剥蚀^[10~15],强烈的山盆升降差异导致坳陷北部山前向坳陷内部依次出露变质基底、石炭—二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系、古近系、新近系和第四

^①国家“973”项目(编号:2011CB201104)和国家自然科学基金项目(批准号:41072104)联合资助。
收稿日期:2012-04-13;收修改稿日期:2012-05-11

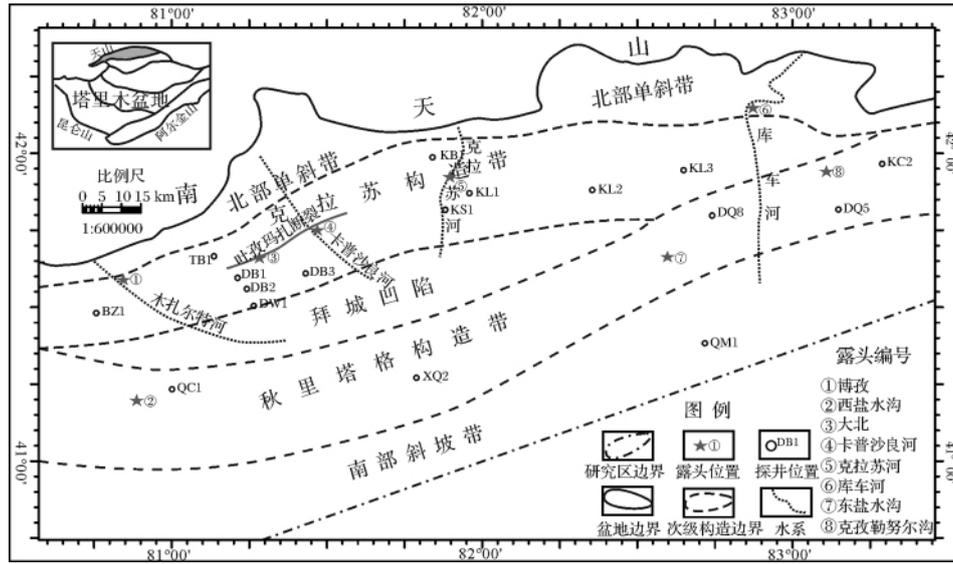


图 1 库车坳陷构造单元划分及野外露头位置图

Fig.1 Location of outcrops and the tectonic units of Kuqa Depression

系 进入坳陷内部发育被逆冲断层破坏的北东东—近东西向的褶皱构造^[16]。

2 库车坳陷砾岩层具有三类沉积成因

野外露头考察结果表明,库车坳陷新近系—第四系存在三种沉积类型的砾岩层,他们的成因分别是冲积扇、扇三角洲及河流相。各类砾岩层的成因及水动力条件不同,从而形成的岩性、结构、构造等特征也不同(图 2)。

扇三角洲沉积形成的砾岩层主要发育新近纪早期,即吉迪克组—康村组沉积时期。由于扇三角洲距离物源区近,容易在扇三角洲平原和前缘亚相形成小规模砾岩层。扇三角洲沉积是部分入湖,因此该类砾岩层既具有陆上也有水下的沉积特征。陆上砾岩层水动力弱、分选差、磨圆度低、具有块状构造;水下砾岩层水动力较强、分选中等、具有交错层理,砾石定向排列,砾岩层上部和下部与褐色泥岩或泥质粉砂岩等水动力较弱的细粒沉积物接触。总体上,该类砾岩层的砾石成分简单,以灰岩和燧石为主,粒径较小(5~10 mm 为主),强烈钙质胶结(图 2 下部)。

而冲积扇砾岩层是库车坳陷新近纪晚期强烈前陆构造活动的最直接产物,南天山隆升并遭受强烈风化剥蚀的产物被洪水搬运至库车坳陷山前快速堆积而形成^[10-15,17]。一般认为该类沉积的水动力条件强,砾石搬运能力强,但是搬运距离短。但是通过野外考察,发现这类砾岩层在库车坳陷从库车组中晚期

开始发育,到第四纪时期冲积扇砾岩层的规模已经变得很大,分布范围广(可延伸 20~50 km),厚度大(可达 1 000~2 000 m)。该类砾岩层为块状构造,不发育层理构造和粒序构造;砾石不具有定向排列,分选差、大小混杂,粒径范围 1~200 cm,主要分布在 5~50 cm;磨圆度不一致,有的磨圆很好,有的磨圆很差,胶结疏松;砾石成分复杂,火山岩、变质岩和沉积岩砾石都有发育(图 2 上部)。

库车坳陷新近纪晚期的河流相,即冲积平原上也发育大量砾岩层,这些砾岩层分布在砾质辫状河道内。该类砾岩层沉积时期的水动力条件较强,搬运距离远,沉积构造丰富。砾岩层底部有明显的冲刷面,冲刷下部泥岩和砂岩,砾岩层内发育槽状交错层理或斜层理,这种类型砾岩层的砾石粒径小(2~20 mm),分选磨圆好,砾石长轴具有定向性,且向上呈现正粒序。同冲积扇砾岩层一样胶结疏松(图 2 中部)。

根据钻井数据统计,新近系库车组—第四系的冲积扇砾岩层从厚度上所占比重最大,河流相砾岩层次之,扇三角洲砾岩层规模最小,且冲积扇的演化与前陆活动的强度变化联系更密切,因此,冲积扇砾岩层的分布和演化研究显得尤为重要。

3 冲积扇砾岩粒度、物源、分布及演化

3.1 砾石粒径随相带分异

砾石粒径的分异在纵向和横向均有体现。纵向上,表现为自下而上多个层系的砾岩层砾石组成反韵律(图 2),反映了随南天山不断隆起,物源供给充足,

系	组	岩性	亚相	沉积构造	岩性特征	野外露头砾岩照片	
第四系	Q ₃₋₄		扇端	发育正韵律, 砾石定向排列分选磨圆较好	2~20mm, 小砾岩, 发育石英岩、灰岩、花岗岩砾石		
			扇中	块状, 分选差, 磨圆中等—好	5~50cm, 以5~15cm为主, 中砾—粗砾岩, 成分以花岗岩、安山岩为主		
			扇根	块状, 叠瓦状	20~200cm, 粗砾岩, 成分复杂		
	西域组		扇端			含砂小砾岩, 砾石成分包括石英岩、灰岩、少量安山岩	
			扇中	块状, 见模糊平行层理, 分选中等—差, 定向排列, 磨圆中等—好, 发育正韵律	5~20cm 杂色中砾岩, 石英岩、花岗岩、安山岩、灰岩、砾岩、片麻岩、千枚岩、燧石		
			扇根	块状、分选差、磨圆中等	30~200cm, 粗砾—巨砾岩, 砾石包括玄武岩、绿泥片岩、花岗岩、白云岩、安山岩、灰岩、火山角砾岩		
新近系	库车组		河床	灰色、薄层细砾岩、细砂岩、黄色泥岩组成正旋回, 整体为反韵律。砾石磨圆好, 分选中等	1~2cm, 主要为细砾岩, 偶夹中砾岩, 砾石包括石英岩、安山岩、灰岩、片麻岩、和砂岩		
			扇三角洲平原	褐色黄色薄层细砂岩与泥岩互层, 偶夹小砾岩, 整体为正韵律	5~20mm, 主要为细砾岩, 夹中砾岩, 砾石主要为石英岩、灰岩, 变质砂岩		
	吉迪克组		扇三角洲前缘	灰色厚层泥岩、夹粉砂岩、石膏岩沉积, 整体先为反韵律后为正韵律	2~10mm, 主要为细砾岩, 砾石主要为石英岩和灰岩		
			滨浅湖	灰色厚层泥岩、泥膏岩夹粉砂岩、石膏岩沉积	不发育砾岩		

图2 库车坳陷中部新近系—第四系三类砾岩层的垂向层序、构造、岩性及野外露头特征

Fig. 2 The vertical sequences, structure, lithology and outcrop characteristics of Neogene-Quaternary gravel layers in the middle of Kuqa Depression

沉积物不断进积的相带变化特征。横向上, 单方向物源冲积扇的砾岩层, 顺物源方向砾石粒径逐渐减小; 多方向物源冲积扇的砾岩层, 主方向物源的砾石粒径大, 可以达到巨砾, 支流方向物源的砾石粒径较小, 普遍为中细砾。

库车拗陷砾岩层有四个野外剖面, 从西部的木扎尔特河剖面, 到中部的卡普沙良河剖面、克拉苏河剖面, 再到东部的库车河剖面。在每个露头, 从冲积扇的扇根至扇端, 砾石粒径呈减小趋势(图 3), 尤其是木扎尔特河、卡普沙良河西域组冲积扇的扇根与扇端砾石粒径可以相差几十倍甚至上百倍, 扇根的砾石普遍是粗砾, 含巨砾和中砾(图 3A、D), 而扇中以中砾为主(图 3B、E), 到扇端主要发育细砾岩(图 3C、F)。克拉苏河第四系冲积扇的砾石大小变化也是如此, 山间河道和扇根的砾石普遍为粗砾(图 3G)、巨砾, 而扇中和扇端分别过渡到了中砾和细砾(图 3H、I)。

3.2 砾岩层来自四大物源体系, 砾石成分分区明显

砾岩层的砾石成分与物源区联系密切, 通过对 8 个野外露头及 11 口钻井岩屑中砾岩层(吉迪克组—第四系)砾石成分的分析, 划分了四大物源体系, 即: 木扎尔特河物源(包括西盐水沟露头)、卡普沙良河物源(包括大北露头)、克拉苏河物源与库车河物源(包括克孜勒努尔沟露头)。

通过详细统计典型露头和临近井岩屑中的砾石成分, 发现自下而上从吉迪克组至第四系, 砾石成分越来越复杂, 吉迪克组—康村组砾石以灰岩和硅质岩为主, 库车组—第四系中火山岩、变质岩砾石增多。同一物源砾石成分自扇根至扇端种类减少, 例如木扎尔特河物源, 西域组扇根位于博孜露头, 砾石成分极其复杂, 发育片麻岩、石英岩、花岗岩、白云岩、灰岩、千枚岩、砾岩(包括火山角砾岩)等, 而扇端位于西盐水沟露头, 砾石成分简单, 则以石英岩、花岗岩和片麻

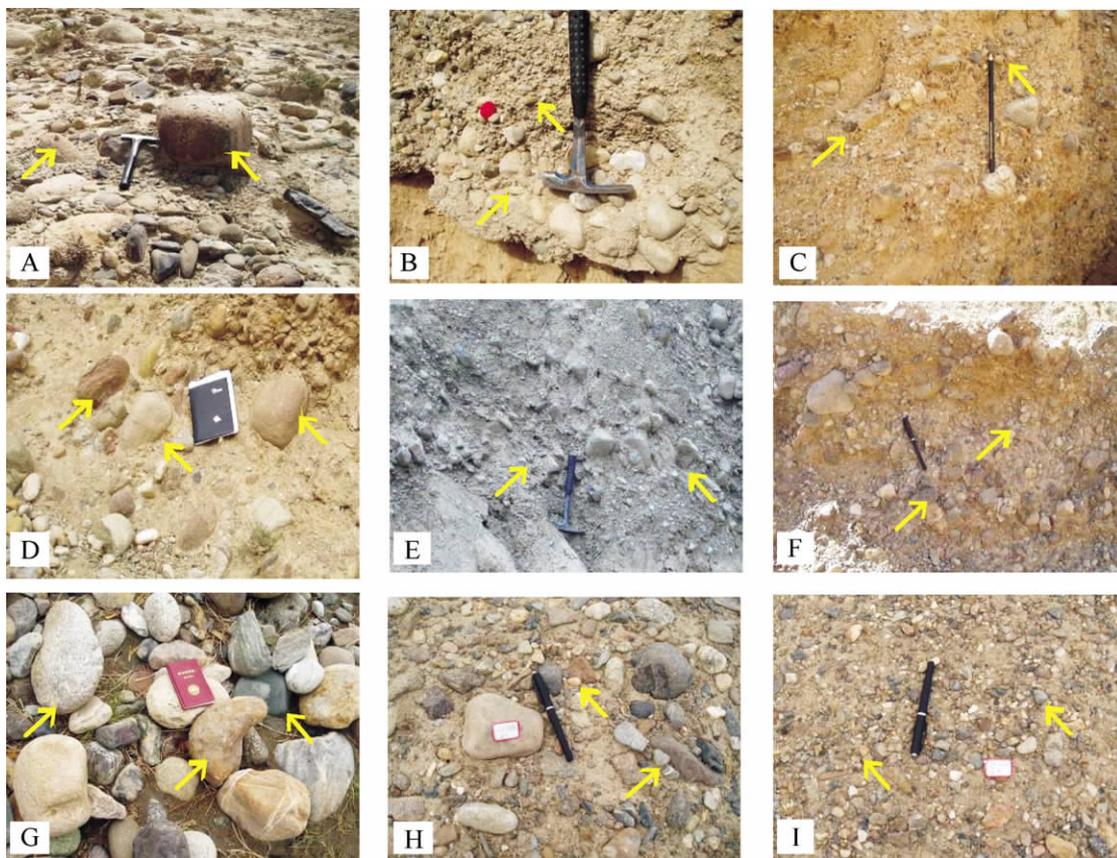


图 3 库车拗陷不同野外剖面上顺物源方向的砾石粒径变化

- A 博孜—西盐水沟剖面西域组扇根; B 博孜—西盐水沟剖面西域组扇中; C 博孜—西盐水沟剖面扇端;
- D 卡普沙良河剖面西域组扇根; E 卡普沙良河剖面西域组扇中; F 卡普沙良河剖面西域组扇端;
- G 克拉苏河剖面第四系扇根; H 克拉苏河剖面第四系扇中; I 克拉苏河剖面第四系扇端。

Fig. 3 The gravel grain sizes change from provenance direction in different outcrops of Kuqa Depression

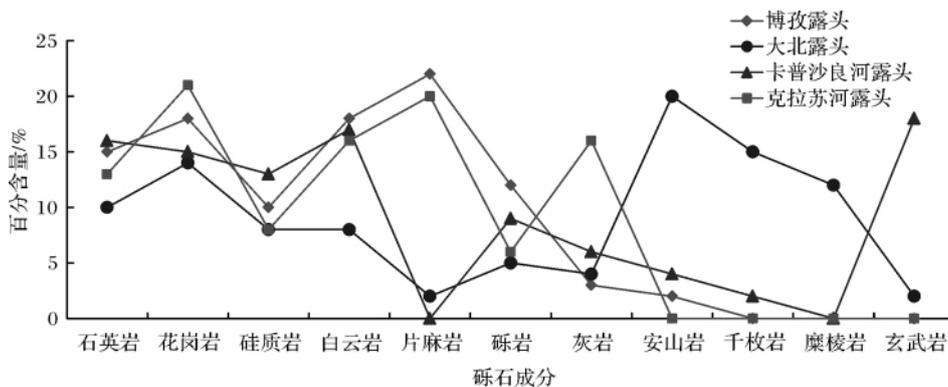


图4 各露头中砾岩层砾石成分含量折线图

Fig.4 The line chart of gravel composition percentages at different outcrops of Kuqa Depression

岩为主。大北露头中西域组扇根在吐孜玛扎背斜北翼发育安山岩、白云岩、花岗岩、千枚岩、糜棱岩和少量灰岩砾石,而扇中位于南翼为大量安山岩砾石(80%以上),其次为少量花岗岩、玄武岩。

根据全层位的砾石成分统计,不同物源体系之间既有相同砾石成分,例如石英岩类、花岗岩类、硅质岩类和白云岩类等常见砾石;各体系也有各自特有的砾石成分,砾岩和片麻岩砾石多发育在木扎尔特河与克拉苏河物源,缺少火山岩砾石,千枚岩、糜棱岩、安山岩和玄武岩等砾石发育在卡普沙良河物源(图4)。

3.3 砾岩层的横向分布及垂向演化

库车坳陷的砾岩层可以按照砾岩层所在层系自下而上划分为四期:吉迪克期、康村期、库车期和第四纪。从单个野外露头来看,层位越新,砾岩层规模越大,砾石含量越多,大小分选越差,成分越复杂,变质岩和砂岩砾石增多,如博孜—西盐水沟露头(图3)。这种规律在纵向剖面上体现的更明显。根据南北向剖面(图5),在剖面井区自下而上,康村组以来砾岩层的分布范围向南变大,且第四系砾岩层分布范围急剧扩大。根据东西向剖面(图6),吉迪克组—康村组砾岩层连片分布,但砾岩层厚度和砾石粒度等规模较小,而自库车组以来,冲积扇砾岩层规模变大,横向相变快,在局部地区集中分布,从图上看坳陷西部BZ1—DB3地区砾岩层规模明显大于坳陷东部KL2地区。

根据野外露头和钻井录井数据编绘的各层系砾岩层厚度等值线图(图7),也可以看出自吉迪克组至库车组,砾岩层的分布范围在缓慢向东向南扩大,但基本上还是呈裙带状分布在盆地北部山前地带,说明此阶段坳陷的挤压强度不是很大,且构造活动强度一

致。上部第四系西域组和 Q_{3+4} 砾岩层的分布范围向南扩大的更迅速,从厚度图上看砾岩层分区性明显,坳陷西部的砾岩层更厚且集中分布在三个小区,而坳陷东部的砾岩层规模逐渐向西退缩,说明此时盆地受到强烈的构造活动影响,北部山前受到挤压快速抬升,而且此时坳陷东部也已开始抬升。本区砾岩层泥质含量少,以砂砾为主,其沉积构造不发育,多为胶结疏松,层内所夹泥岩多为褐色、红褐色。所以这是干旱气候背景下的冲积扇沉积物,其特点就是相变快。

总体上可以看出库车坳陷新近系—第四系砾岩层具有纵向上多期次连续发育、相带差异明显,横向上相变快、集中分布的特点。

4 冲积扇砾岩层发育的主控因素

根据对库车坳陷中部砾岩层的规模、沉积特征及分布规律的研究,认为构造活动演化、南北向断裂以及构造样式是形成现今砾岩层特征及其分布的主要因素。

4.1 构造演化控制了砾岩层沉积相类型和叠置样式

库车坳陷新近系—第四系砾岩层发育的根本原因是坳陷在前陆盆地演化阶段经历了持续的构造活动^[18],其强弱大小也是砾石层砾石特征和分布的控制因素。根据研究,自从中生代末期强烈的抬升剥蚀之后,库车坳陷先后经历了渐新世末期的弱挤压、中新世的稳定抬升,中新世末期—全新世的强烈挤压过程^[16]。因此,库车坳陷在中新世时期仍处于比较稳定的构造背景下,砾岩层主要为扇三角洲成因,而伴随中新世末期、特别是上新世以来持续增强的区域挤压活动,导致南天山不断抬升剥蚀,山前坡度变大、

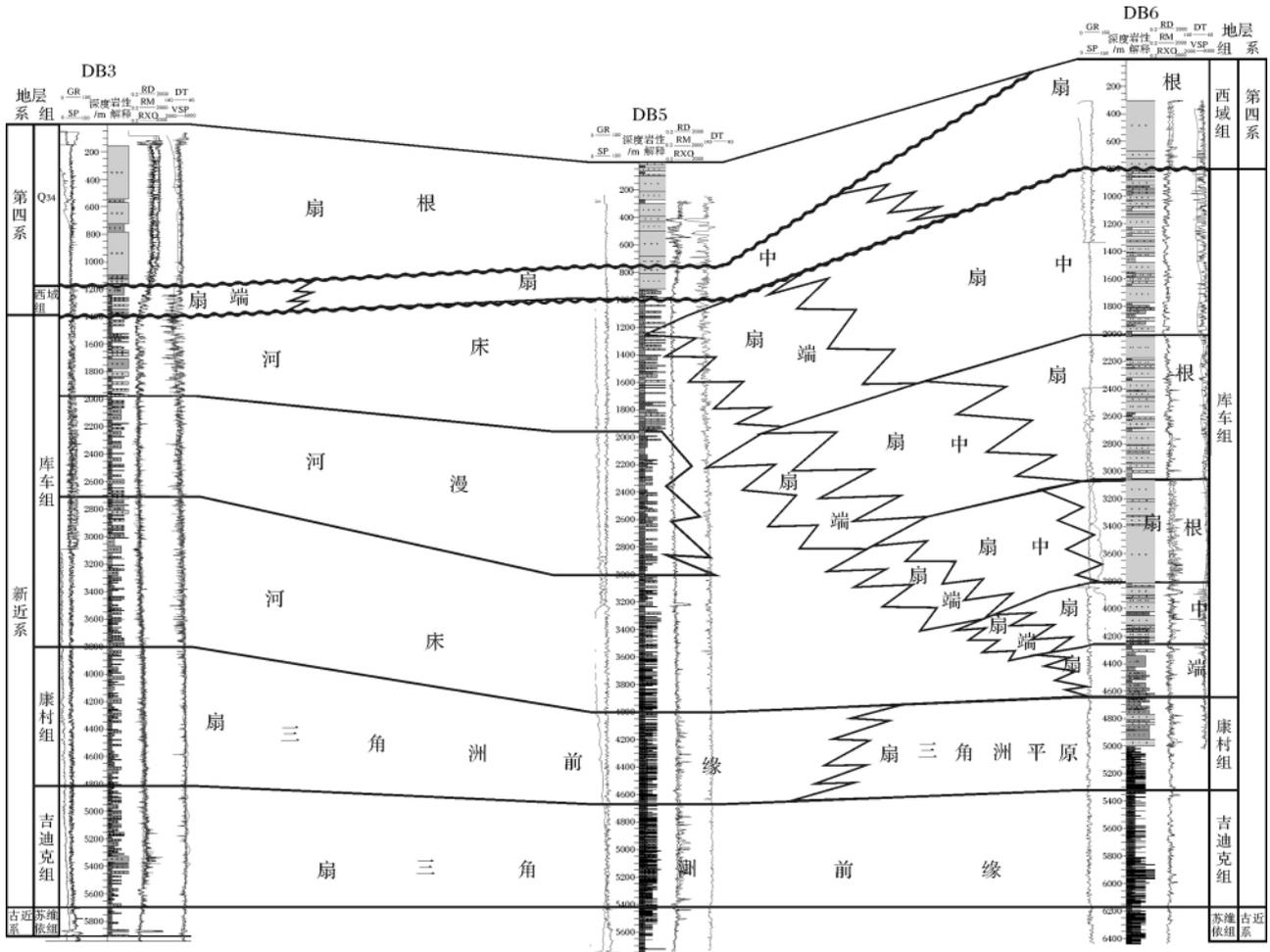


图 5 库车坳陷南北向新近系—第四系砾岩层对比剖面

Fig. 5 South-north well correlation of Neogene-Quaternary gravel layers in the middle of Kuqa Depression

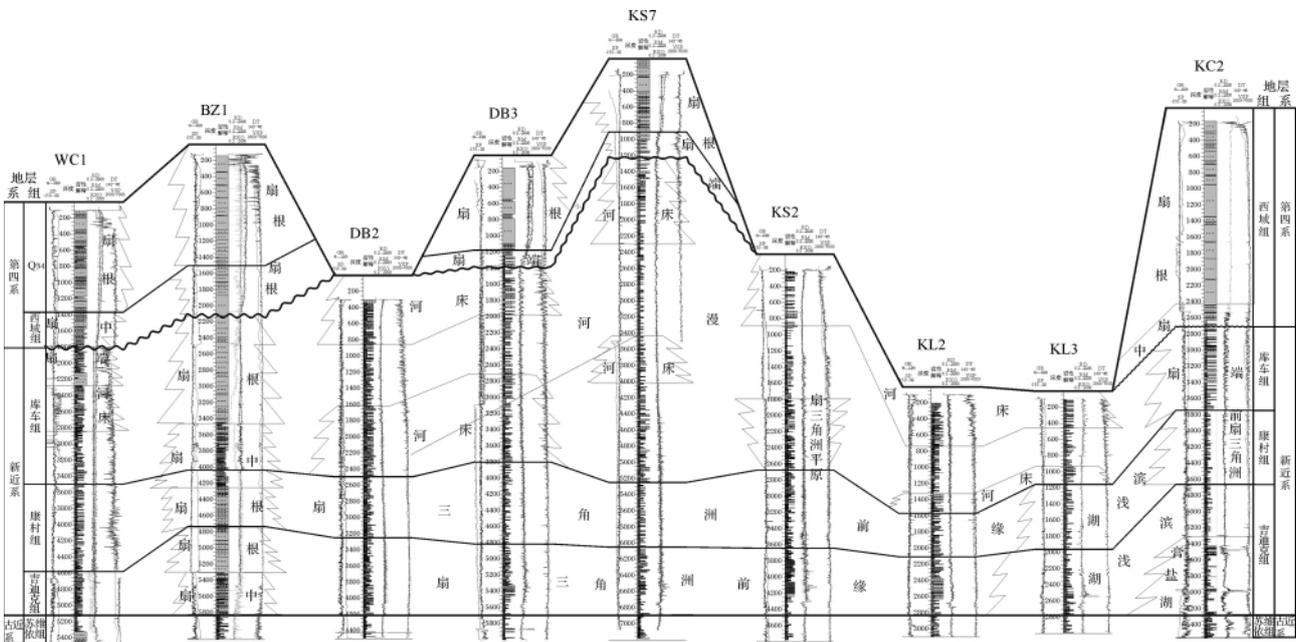


图 6 库车坳陷东西向新生界砾岩层对比剖面

Fig. 6 West-east well correlation of Neogene-Quaternary gravel layers in the middle of Kuqa Depression

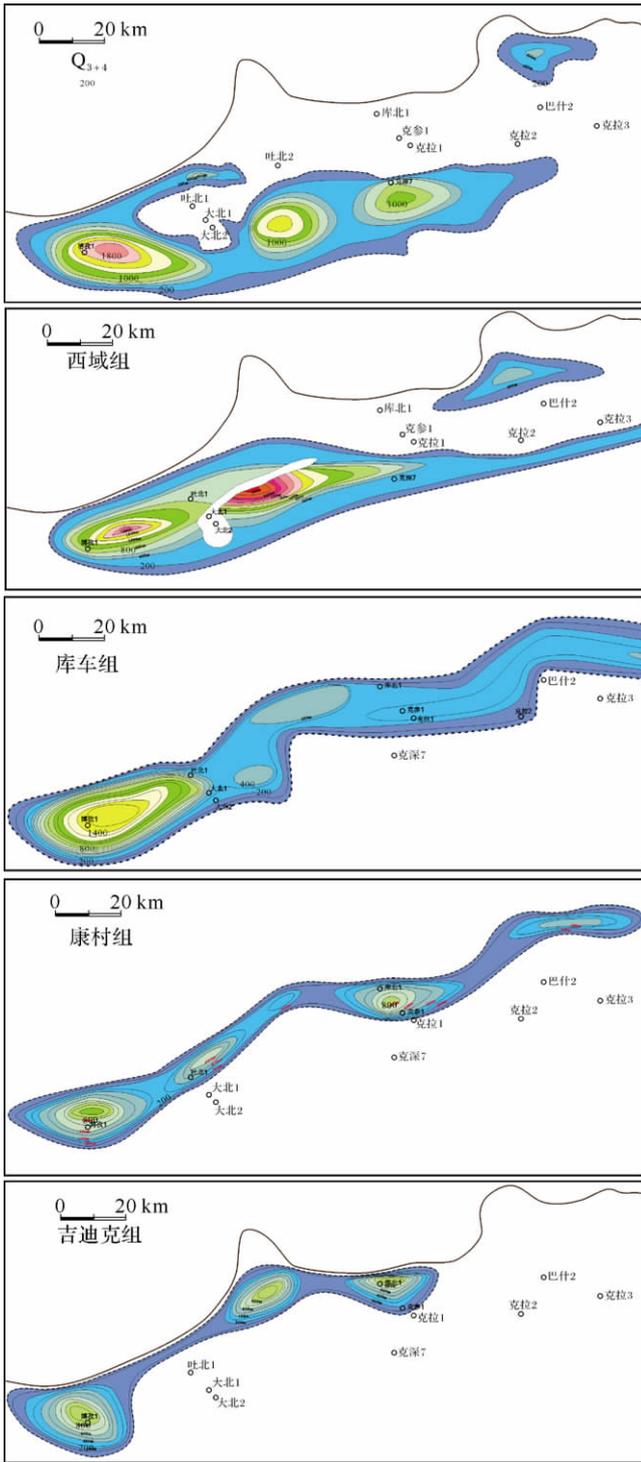


图 7 库车坳陷新近系—第四系各层系的砾岩层厚度等值线图
 Fig. 7 Thickness contour maps of Neogene-Quaternary gravel layers in the middle of Kuqa Depression

地形变陡,为冲积扇发育提供了场所和物源,库车组及第四系发育了规模较大的冲积扇砾岩层。

上新世以来构造活动的强烈程度在变化,砾岩层的叠置样式也在变化。根据顺物源方向的南北向沉

积相剖面(图 5),库车组下段到中段,构造活动持续增强,自下而上砾岩层的厚度和粒度都增大,扇根和扇中范围向南扩大,以反韵律为主;而库车组中后期,第一次区域挤压活动减弱,扇根和扇中范围向后退缩,砾岩层厚度也向上变薄,发育正韵律。

4.2 南北向断裂控制了砾岩层的物源体系

库车坳陷整体呈东西走向,在新近纪—第四纪前陆盆地演化阶段,以南北向挤压为主,形成了东西分段的特征,在局部位置形成多个南北向的走滑断裂作为构造转换带调节整个坳陷结构^[19]。在这些南北向断裂基础上往往发育大型水系,直接连通砾岩层沉积的物源区,如木扎尔特河水系、卡普沙良河水系和克拉苏河水系。

这些水系规模大,向物源区延伸远,携带碎屑物质的能力不容小觑,在长期演化过程中也不会发生大尺度的侧向变迁,因此各个水系基本上形成了固定的分布范围和物源体系。随着物源区的不断隆升,自下而上的砾石成分也随着物源区被剥蚀地层的由新变旧而变得越来越复杂。根据前面对砾石成分分布的研究结果,本区砾岩层的物源体系之间区分比较明显,正是受到了这些调节坳陷的南北向走滑断裂所控制。

4.3 构造样式控制了砾岩层的平面分布

库车坳陷在新近纪—第四纪遭受分段挤压时,在坳陷内不同位置分别形成了不一样的构造样式,这些构造样式直接控制了砾岩层的平面分布和规模。

根据前人研究,库车坳陷的区域性挤压活动自东向西逐渐增强,从库车坳陷现今地质图可以看出,坳陷东部最北边的背斜带出露的是下白垩统巴什基奇克组,而坳陷中部的背斜带出露古近系库姆格列木群,坳陷西部南侧的背斜出露新近系吉迪克组,而拜城凹陷南部形成了最后一期背斜构造—秋里塔格构造带,出露库车组^[16]。因此造成了库车坳陷东部库车河地区自北向南发育三排背斜构造,而中部克拉苏河地区为两排背斜构造,西部卡普沙良河地区为一排,而西部博孜地区尚未发育背斜构造。

背斜构造的出现可以影响来自物源区碎屑物质的搬运距离,从而控制了砾岩层的分布范围。例如博孜地区处在最西端,构造挤压强度最大,山前是一片空旷的斜坡区,来自木扎尔特河水系的碎屑物质源源不断的堆积在此,直至秋里塔格构造带形成后,博孜地区砾岩层的分布才受到阻挡产生向东推进的趋势(图 7)。而克拉苏河地区发育两排背斜构造,因此最

早期的砾岩层分布在第一排构造北部,中期的砾岩层分布在两排构造之间,最晚期的砾岩层进入拜城凹陷,仅分布在第二排构造南侧,分布范围要比博孜地区砾岩层更局限。

5 结论

库车坳陷在新近纪—第四纪前陆盆地演化阶段,形成了扇三角洲、冲积扇及冲积平原三种沉积成因的砾岩层,三种砾岩层的规模、水动力条件及沉积构造等具有较大差异。以冲积扇砾岩层规模大,发育木扎尔特河、卡普沙良河、克拉苏河及库车河等四大物源体系,各物源体系的砾石成分分区明显,砾石粒径随相带分异。库车坳陷新近系—第四系砾岩层具有纵向上多期次连续发育、相带差异明显,横向上相变快、集中分布的特点。构造演化、构造样式及南北向断裂是控制砾岩层发育、沉积特点及分布规律的主要因素。

参考文献(References)

- 张师本,黄智斌,朱怀诚,等. 塔里木盆地覆盖区显生宙地层[M]. 北京:石油工业出版社,2004:89-99 [Zhang Shibin, Huang Zhibin, Zhu Huaicheng, et al. Phanerozoic Stratigraphy at Overlay Area of Tarim Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004: 89-99]
- 贾承造,张师本,吴绍祖,等. 塔里木盆地及周边地层(下册)[M]. 北京:科学出版社,2004:119-130 [Jia Chengzao, Zhang Shibin, Wu Shaouzu, et al. Tarim Basin and Its Periferal Stratigraphy (Secondary) [M]. Beijing: Siences Press, 2004: 119-130]
- 邓秀芹,岳乐平,滕志宏,等. 塔里木盆地周缘库车组、西域组磁性地质学初步划分[J]. 沉积学报,1998,16(2):82-86 [Deng Xiuqin, Yue Leping, Teng Zhihong, et al. A primary magnetostratigraphy study on Kuche and Xiyu Formations on the edge of Tarim Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16(2): 82-86]
- 王子煜. 库车坳陷西部中生代地层岩石物理和力学性质[J]. 地球物理学进展,2002,17(3):399-405 [Wang Ziyu. Physical and mechanical properties of Mesozoic and Cenozoic rocks in the west of Kuche Depression in Tarim Basin [J]. Progress in Geophysics, 2002, 17(3): 399-405]
- 陈杰,Heermance R V, Burbank D W,等. 中国西南天山西域砾岩的磁性地质年代与地质意义[J]. 第四纪研究,2007,27(4):576-577 [Chen Jie, Heermance R V, Burbank D W, et al. Magnetostratigraphy and its implications of the Xiyu conglomerate in the southwestern Chinese Tianshan foreland [J]. Quaternary Sciences, 2007, 27(4): 576-577]
- 陈小二,范昆,汤兴友,等. 复杂山地震采集技术在库车坳陷的应用[J]. 天然气工业,2010,30(9):25-27 [Chen Xiaor, Fan Kun, Tang Xingyou, et al. Seismic acquisition technology in complex mountainous areas and its application: An example from DK 2D seismic survey in the Kuqa Depression [J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(9): 25-27]
- 杨六成,陈海福. 柴达木盆地甜参1井砾岩层厚度特征及其青藏高原隆升意义初探[J]. 青海大学学报:自然科学版,2010,28(2):31-36 [Yang Liucheng, Chen Haifu. The thickness feature on the Caidam basin Well Tiancan-1 gravel stratum and investigation on the uplift of Qing-Tibet plateau [J]. Journal of Qinghai University: Nature Science, 2010, 28(2): 31-36]
- 郑洪波,Butcher Katherine, Powell Chris. 新疆叶城晚新生代山前盆地演化与青藏高原北缘的隆升—地层学与岩石学证据[J]. 沉积学报,2002,20(2):274-281 [Zheng Hongbo, Butcher Katherine, Powell Chris. Evolution of Neogene foreland basin in Yecheng, Xinjiang, and uplift of northern Tibetan Plateau: stratigraphy and petrology [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(2): 274-281]
- 田作基,宋建国. 塔里木库车新生代前陆盆地构造特征及形成演化[J]. 石油学报,1999,20(4):15-21 [Tian Zuoji, Song Jianguo. Tertiary structure characteristics and evolution of Kuche foreland basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 1999, 20(4): 15-21]
- 谭秀成,王振宇,李凌,等. 库车前陆盆地第三系沉积相配置及演化研究[J]. 沉积学报,2006,24(6):790-797 [Tan Xiucheng, Wang Zhenyu, Li Ling, et al. Arrangement and evolution of Tertiary sedimentary facies in Kuche foreland basin, Xinjiang [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(6): 790-797]
- 李忠,郭宏,王道轩,等. 库车坳陷—天山中、新生代构造转折的砂岩碎屑与地球化学记录[J]. 中国科学: D辑,2005,35(1):15-28 [Li Zhong, Guo Hong, Wang Daoxuan, et al. Mesozoic-Cenozoic tectonic transition in Kuqa Depression-Tianshan, Northwest China: Evidence from sandstone detrital and geochemical records. [J]. Science in China: Series D, 2005, 35(9): 1387-1402]
- 李忠,王清晨,王道轩,等. 晚新生代天山隆升与库车坳陷构造转换的沉积约束[J]. 沉积学报,2003,21(1):38-45 [Li Zhong, Wang Qingchen, Wang Daoxuan, et al. Depositional record constraints on Late Cenozoic Uplift of Tianshan and tectonic transformation in Kuqa Depression, West China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(1): 38-45]
- 何光玉,卢华复,杨树锋,等. 库车中新生代盆地沉降特征[J]. 浙江大学学报:理学版,2004,32(1):110-113 [He Guangyu, Lu Huaifu, Yang Shufeng, et al. Subsiding features of the Mesozoic and Cenozoic Kuqa Basin, Northwestern China [J]. Journal of Zhejiang University: Science Edition, 2004, 32(1): 110-113]
- 李双建,王清晨,李忠. 库车坳陷库车河剖面重矿物分布特征及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志,2005,15(1):53-61 [Li Shuangjian, Wang Qingchen, Li Zhong. Characteristics of Mesozoic and Cenozoic heavy minerals from Kuche River section in Kuche depression and their geological implications [J]. Acta Petrologica Et Mineralogica, 2005, 15(1): 53-61]
- 李维锋,王成善,高振中,等. 塔里木盆地库车坳陷中生代沉积演化[J]. 沉积学报,2000,18(4):534-538 [Li Weifeng, Wang Chengshan, Gao Zhenzhong, et al. Sedimentary evolution of Mesozoic Era in Kuche depression, Tarim basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(4): 534-538]

- 16 漆家福,雷刚林,李明刚,等. 库车坳陷—南天山盆山过渡带的收缩构造变形模式[J]. 地学前缘-中国地质大学(北京);北京大学,2009,16(3):120-128 [Qi Jiafu, Lei Ganglin, Li Minggang, *et al.* A model of contractional structure for transition belt between Kuche Depression and Southern Tianshan Uplift [J]. *Earth Science Frontiers*, 2009, 16(3): 120-128]
- 17 林畅松,刘景彦,胡博. 构造活动盆地沉积层序形成过程模拟—以断陷和前陆盆地为例[J]. 沉积学报,2010,28(5):868-874 [Lin Changsong, Liu Jingyan, Hu Bo. Computer simulation on the formation of depositional sequence in tectonic active basin: a case study on rift and foreland basins [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2010, 28(5): 868-874]
- 18 贾进华. 陆相前陆盆地沉积充填与层序地层模式探讨—以库车前陆盆地为例[J]. 现代地质,2009,23(4):739-745 [Jia Jinhua. Discussion of depositional filling and sequence stratigraphy model of continental foreland basin: Taking the Kuqa foreland basin as an example [J]. *Geoscience*, 2009, 23(4): 739-745]
- 19 李曰俊,吴根耀,雷刚林,等. 新疆库车新生代前陆褶皱冲断带的变形特征、时代和机制[J]. 地质科学,2008,43(3):488-506 [Li Yuejun, Wu Genyao, Lei Ganglin, *et al.* Deformational features ages and mechanism of the Cenozoic Kuqa foreland fold-and-thrust belt in Xinjiang [J]. *Chinese Journal of Geology (Scientia Geologica Sinica)*, 2008, 43(3): 488-506]

Sedimentary Characteristics and Distribution of Neogene-Quaternary Gravel Layers in the Middle of Kuqa Depression, Tarim Basin

WANG Zhao-ming¹ ZHONG Da-kang² SUN Hai-tao² YANG Hai-jun¹ XIE Hui-wen¹
LI Yong¹ LEI Gang-lin¹ YANG Xian-zhang¹ WU Qing-kuan¹ ZHANG Bo-ning³

(1. Tarim Oil field Company, PetroChina, Korla, Xinjiang 841000;

2. College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249;

3. Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434023)

Abstract: Based on the outcrop investigation and core borings identification, we systematically studied the cycle of development, the sedimentary and distribution characteristics of Neogene-Quaternary gravel layers of Kuqa Depression in Tarim Basin, to solve the problems of velocity changes and engineering decision. We analysed the thickness, lithology, structures, tectonic and gravel composition of different outcrops and rock debris, and we also correlate gravel layers of all period. We believe that there were four periods which developed thick gravel layers, and the sedimentary origins of gravel layers could be alluvial fan, fan delta and fluvial plain. All gravels had four provenance systems, in which there developed different gravel composition. The gravel layers of Kuqa depression continuously developed in different periods vertically, and had different facies which changed fast laterally. The tectonic evolution, tectonic style, and the north-south faults were the main factors which influenced the sedimentary characteristics, distribution of the gravel layers.

Key words: Kuqa Depression; alluvial fan; gravel layers; sedimentary characteristics; controlling factors