

# 库车坳陷白垩系沉积前古地貌及对沉积的控制作用

莫涛<sup>1,2</sup>, 王珂<sup>3</sup>, 王俊鹏<sup>3</sup>, 金文正<sup>4</sup>

1 中国石油塔里木油田公司勘探开发研究院; 2 中国石油集团超深层复杂油气藏勘探开发技术研发中心;

3 中国石油杭州地质研究院; 4 中国地质大学(北京)能源学院

**摘要** 在完成16条南北向地质剖面的平衡剖面构造复原的基础上,恢复塔里木盆地库车坳陷白垩系沉积前古地貌并分析了古地貌对沉积的控制作用。首先根据平衡剖面构造缩短量的计算,推算出库车坳陷白垩系沉积前古盆地的北部边界;然后根据恢复后的白垩系厚度数据,绘制了库车坳陷白垩系沉积前古地貌;最后根据恢复后的侏罗纪末期平衡剖面编制库车坳陷侏罗纪末期古地质图,并分析了古地貌对沉积的控制作用。结果表明:①库车坳陷南北向地质剖面自白垩纪早期至今的构造缩短量介于3.74~26.02 km,构造缩短率介于3.76%~24.74%,构造变形量主要集中在南天山的山前地区。根据地质剖面与构造走向法线的夹角计算出,盆地现今边界与白垩系沉积前的边界相比向南推移了最小3.70 km,最大25.19 km。②白垩系沉积前古地貌具有隆坳相间的特征,自西至东依次分为温宿凸起区、拜城低凸起区、中心沉降区、阳霞斜坡区和阳东低凸起区。这与侏罗纪末期库车坳陷南北两侧的不均匀构造挤压应力以及内部沉积地层岩性差异密切相关。③古地貌控制库车坳陷下白垩统亚格列木组发育南北两套沉积体系。北部沉积体系在坳陷东西两侧为扇三角洲,在坳陷中部为辫状河三角洲;南部沉积体系发育小型近源扇三角洲。

**关键词** 古地貌; 平衡剖面; 去压实校正; 沉积体系; 白垩系; 库车坳陷

**中图分类号**: TE121.2 **文献标识码**: A

**引用**: 莫涛, 王珂, 王俊鹏, 等. 库车坳陷白垩系沉积前古地貌及对沉积的控制作用[J]. 海相油气地质, 2025, 30(2): 167-176.

MO Tao, WANG Ke, WANG Junpeng, et al. Pre-Cretaceous paleogeomorphology and its control effect on sedimentation in Kuqa Depression [J]. Marine origin petroleum geology, 2025, 30(2): 167-176.

## 0 前言

古地貌分析是准确预测盆地中深部储层的关键和基础<sup>[1]</sup>,取得的成果认识可有效指导油气勘探<sup>[2-9]</sup>。古地貌图可直观反映沉积时的地貌环境(沟谷的分布、剥蚀区的范围、沉降中心、坡折带等),为储集砂体的预测提供了基础依据。对不同沉积期的古地貌分别作图,可以反映古地貌的演化,间接反映沉积环境的变迁,包括构造运动、湖平面升降、剥蚀区及沉积区的空间展布与配置等特征。

目前常用的地层厚度、层序地层学、沉积学、地震沉积学和盆地模拟等古地貌恢复方法,多基于沉积地层的等时性特征,理论上更适用于一些沉积相对连续、稳定且未发生明显的大型构造变形(包括横向构造缩短和垂向构造隆升)的地区。塔里木盆

地库车坳陷经历了多期构造挤压和构造拉伸,同时兼有一定程度的走滑应变,且发育多个不整合、多套滑脱层,滑脱层上下构造变形不协调<sup>[10]</sup>。在这种复杂地质背景下,现今构造所处的位置与古位置发生了偏移,上述的古地貌恢复方法并不适用。但是,目前已开展的研究基本上采用以上方法,如周学文等<sup>[11]</sup>利用印模法恢复了库车坳陷南斜坡新和地区白垩系沉积前的古地貌,吴高奎等<sup>[12]</sup>利用不整合面层拉平方法恢复了库车一塔北地区侏罗纪末古地貌。这类研究只停留在静态恢复现今构造位置上的古地貌,而没有将剖面动态恢复到白垩系沉积前。本文通过选取库车坳陷典型地震剖面开展构造平衡恢复,应用“地质平衡”概念编制的古地貌图能更合理地反映地质时期的盆地古地貌特征,有助于进一步探讨研究区有利砂体的空间分布特征。

收稿日期: 2024-09-23; 改回日期: 2024-11-18

本文受国家自然科学基金企业创新发展联合基金集成项目“环青藏高原盆地体系动力学与天然气富集机理”(编号:U22B600002)和中国石油天然气集团有限公司基础性前瞻性重大科技专项“叠合盆地中下组合油气成藏与保持机制研究”(编号:2023ZZ02)联合资助

**第一作者**: 莫涛,高级工程师,主要从事库车山前沉积、储层与成藏研究工作。通信地址:841000 新疆维吾尔自治区库尔勒市石化大道26号; E-mail: motao-tlm@petrochina.com.cn

**通信作者**: 王珂,博士,高级工程师,主要从事储层地质研究工作。通信地址:310023 浙江省杭州市西湖区西溪路920号; E-mail: wangk\_hz@petrochina.com.cn

## 1 区域地质背景

库车坳陷位于塔里木盆地北缘(图1a),自早二叠世末南天山洋关闭以后,长期受到南北向挤压应力作用,经历了幕次性前陆盆地的形成与发展<sup>[13]</sup>。晚二叠世—三叠纪属于前陆盆地发展阶段,侏罗纪—古近纪属于伸展坳陷发展阶段,新近纪—第四纪又经历南北向构造挤压,使得晚古生代的碰撞造山带复活,形成新生代再生前陆盆地<sup>[14-15]</sup>。

### 1.1 构造单元划分

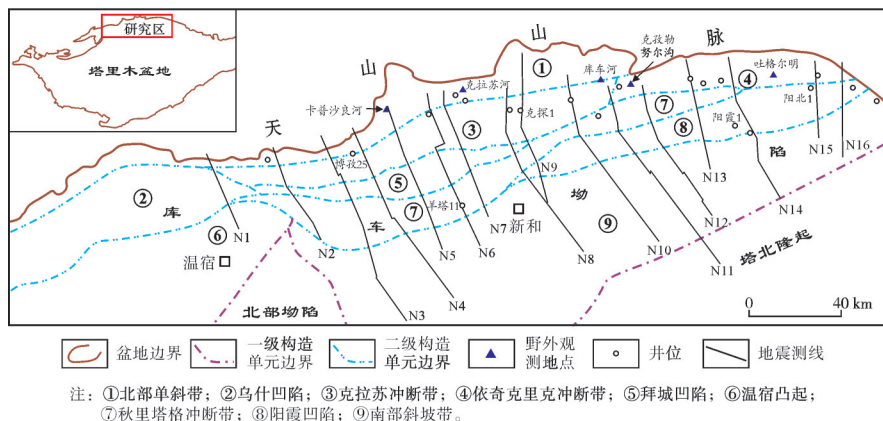
库车坳陷位于天山山前,受造山运动影响明显<sup>[16-17]</sup>,深层密集发育了多条近东西向的褶皱与逆冲断裂,且褶皱—逆冲断裂成排出现,在平面上总体

表现为向南凸出;这些推覆变形由北向南推进,变形强度由北向南逐渐减弱,变形层次由北向南逐渐变浅,反映出冲断层阶梯状断面的特点(图1b,1c)。这使得库车坳陷平面上表现出南北分带、东西分段

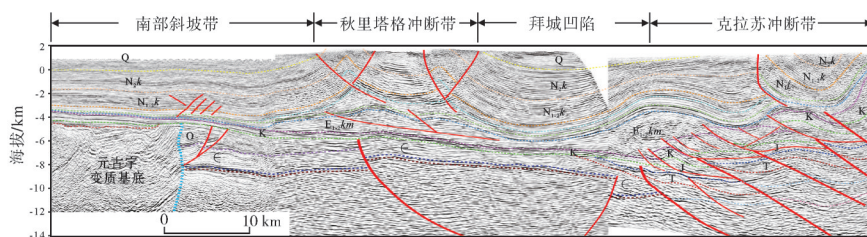
### 1.2 沉积地层特征

库车坳陷从晚二叠世开始发育,地层系统包括上二叠统、三叠系、侏罗系、白垩系、古近系、新近系和第四系<sup>[18-19]</sup>(图1d)。中新世界北薄南厚,楔状沉积向南一直延伸到了塔中隆起的北缘,宽度可达150 km。

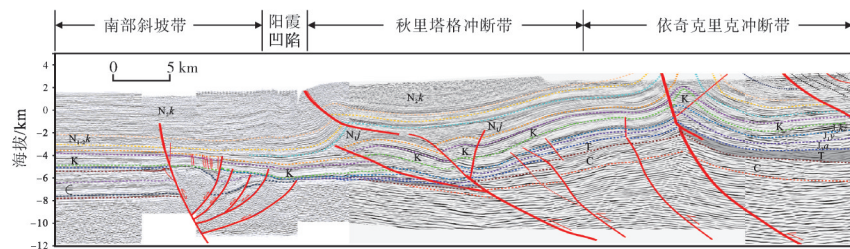
三叠系出露于北部单斜带,与下伏上二叠统呈整合或平行不整合接触,可进一步划分为俄霍布拉



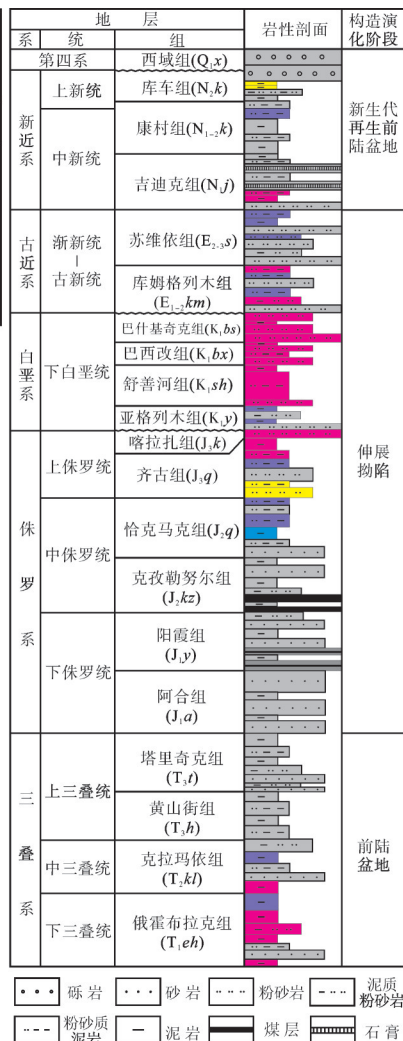
(a) 库车坳陷构造单元划分及主要地震测线分布图



(b) 库车坳陷N5地震剖面解释图



(c) 库车坳陷N13地震剖面解释图



(d) 库车坳陷中新世地层柱状图

图1 库车坳陷构造单元划分及地层柱状图

Fig. 1 Structural units and stratigraphic column of Kuqa Depression

克组、克拉玛依组、黄山街组和塔里奇克组。侏罗系厚度为400~2 000 m,往造山带方向明显增厚,可进一步划分为阿合组、阳霞组、克孜勒努尔组、恰克马克组、齐古组和喀拉扎组。库车坳陷普遍缺失上白垩统,下白垩统广泛出露于北部单斜带西段和克拉苏冲断带—依奇克里克冲断带,地面地质、地震和钻井资料揭示其厚度为400~2 000 m,往山前方向明显增厚,可划分为亚格列木组、舒善河组、巴西改组和巴什基奇克组。新生界主要包括库姆格列木组、苏维依组、吉迪克组、康村组、库车组和第四系。

根据岩性特征,可以将上述地层划分出多套主滑脱层和次滑脱层。主滑脱层有3套:底滑脱层处于前中生界内部,控制基底卷入型构造的发育;下滑脱层为上三叠统一中侏罗统煤系地层;上滑脱层为古近系盐岩层。次滑脱层包括中生界厚层泥岩、新生界苏维依组和吉迪克组盐(膏)岩。库车坳陷地层层序明显受滑脱层的分隔和制约。

## 2 构造平衡剖面恢复及古盆地边界的确定

平衡剖面是指剖面上的构造变形、变位通过几何准则可以复原的剖面,它遵循在封闭体系中体积守恒、面积守恒和线长守恒三项基本原则。一般选择垂直于构造走向的剖面做平衡剖面恢复,至于其他方向的剖面,在平衡恢复过程中地层会移入或移出剖面,不能遵守层长或面积守恒原则。库车坳陷构造近东西走向,本次研究选取了库车坳陷16条近南北向的地震测线(位置见图1a)进行平衡恢复。

### 2.1 平衡剖面恢复基本原理

采用MOVE 2018.1软件进行平衡剖面恢复。将选取的16条经过时深转换的地震剖面导入软件,进行数字化处理。首先对地层进行去压实校正,然后对断层进行恢复,最后选取“钉线”,将岩层拉平进行去褶皱作用。“钉线”是在剖面中设置的一条垂直于地层或构造特征的垂直线,通常选择在未受变形或变形最小的区域,它的作用是固定剖面的某一部分,确保在恢复变形前的地质状态时,剖面长度和几何关系保持一致。根据研究区实际地质特点,本文把“钉线”确定在南部前缘古隆起部位(位置见图2)。恢复过程中对于能干层位采用层长守恒原则、非能干层(侏罗系煤层,古近系库姆格列木组膏岩层,新近

系吉迪克组膏岩层)采用面积守恒原则。剖面平衡恢复过程中剥蚀量的估算采用构造变形趋势法(图2虚线为外推趋势),根据残余地层的展布特征及构造运动特点推算出地层剥蚀量。

### 2.2 去压实校正

压实作用是在成岩过程中,上覆物质不断加厚使静水压力增大,或者受地壳运动的压力等作用,使沉积物的孔隙缩小、厚度变薄而变成坚硬沉积岩的作用。不同岩性的压实作用有较大差异,需区别对待。库车坳陷存在两大套膏岩层,而膏岩层是不可压实的(压实系数为0),在去压实过程中厚度不变。其他地层的岩石孔隙度随着深度的增加而减小,可根据不同岩性进行去压实校正。利用Selater & Christie的压实模型<sup>[20]</sup>,公式为 $\phi = \phi_0 \cdot e^{-cD}$ ,式中: $\phi$ 为地下岩层的现今孔隙度,%; $\phi_0$ 为地表孔隙度,%; $c$ 为孔隙度随深度的变化系数,即压实系数, $\text{km}^{-1}$ ;  $D$ 为深度,m。

对库车坳陷钻井实测孔隙度数据进行统计分析,分别获得中砂岩、细砂岩、粉砂岩和泥岩的孔隙度—深度关系式,得出地表孔隙度和压实系数,见表1。

表1 库车坳陷不同岩性压实参数表  
Table 1 Compaction parameters of different rock types in Kuqa Depression

岩性	地表孔隙度 $\phi_0$ /%	压实系数 $c/(\text{km}^{-1})$
中砂岩	40	0.21
细砂岩	45	0.25
粉砂岩	47	0.27
泥岩	59	0.69

将库车坳陷不同岩层的岩性压实参数输入MOVE 2018.1之后,软件对其进行自动去压实校正。去压实之后地层明显变厚,如图2所示,在白垩系沉积末期的地质剖面上,白垩系的厚度比现今地质剖面上的明显增大。

### 2.3 构造缩短量的计算

将16条地质剖面进行构造演化恢复,通过测量获得了不同地质剖面构造演化的缩短量和缩短率(表2),其中缩短量介于3.74~26.02 km,缩短率介于3.76%~24.74%。结合地质剖面的平面分布位置分析,认为靠近坳陷的地质剖面具有相对较小的变形量,比如N3、N8和N12等测线,而其余靠近山前的

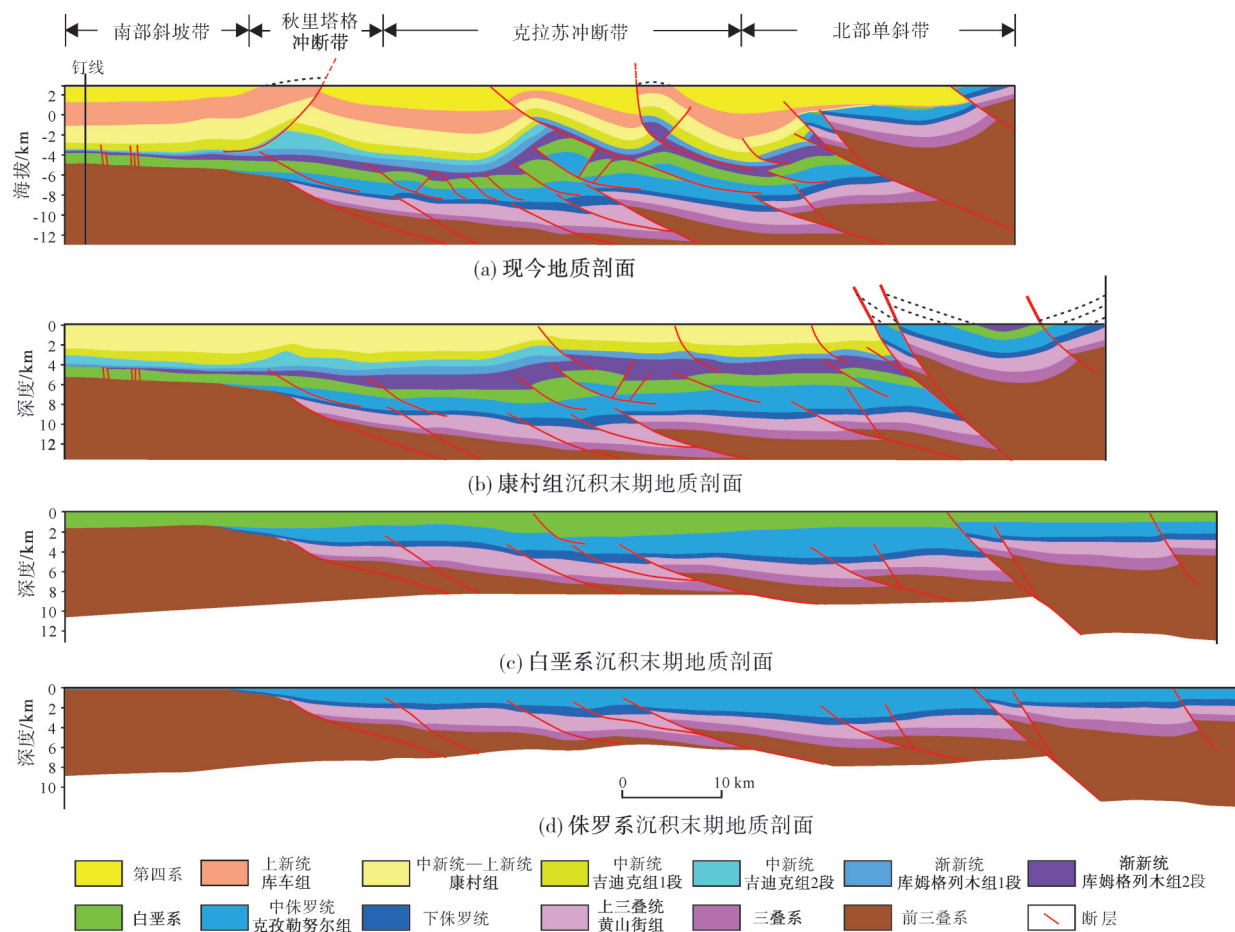


图2 库车坳陷典型地质构造演化剖面 (测线号为N9,位置见图1a)

Fig. 2 Typical geological structure evolution profile of Kuqa Depression (Line N9, location is shown in Fig. 1a)

表2 通过构造平衡剖面所获得的构造变形量

Table 2 Structural deformation parameters obtained by structural balanced profiles

测线号	现今长度/km	恢复后长度/km	变形量/km	缩短率/%	地质剖面与构造走向法线的夹角/(°)	折算后的变形量/km
N1	63.28	84.08	20.80	24.74	16.46	19.95
N2	65.78	84.16	18.38	21.84	18.54	17.42
N3	129.86	134.93	5.07	3.76	18.47	4.81
N4	124.17	134.48	10.31	7.67	17.73	9.83
N5	95.13	114.52	19.39	16.93	14.94	18.73
N6	99.90	125.92	26.02	20.66	14.43	25.19
N7	97.15	118.55	21.40	18.05	14.56	20.72
N8	115.71	123.75	8.04	6.50	14.44	7.78
N9	95.83	115.85	20.02	17.28	1.20	20.02
N10	120.39	140.16	19.77	14.11	8.41	19.55
N11	134.84	143.27	8.43	5.88	12.65	8.23
N12	95.16	98.90	3.74	3.78	8.29	3.70
N13	69.64	76.60	6.96	9.09	7.80	6.90
N14	95.00	98.90	3.90	3.94	5.00	3.88
N15	48.63	53.56	4.93	9.20	2.10	4.93
N16	60.16	65.72	5.56	8.46	4.06	5.54

地质剖面变形量则较大,包括N2、N5、N6和N7等测线。形成这种构造缩短量差异分布的原因是山前地区构造变形强烈,深部发育较多的叠瓦冲断带或者双重构造等。

## 2.4 白垩系沉积前盆地北部边界的确定

基于地质演化剖面恢复结果判断,白垩系现今的坳陷北部边界与沉积前期相比发生向南推移,所以在确定古地貌的同时需要厘定在白垩系沉积前

的北部边界。通过现今南天山造山带构造走向趋势线的确定(图3),可以进一步测量获得16条地质剖面与该构造走向法线的夹角关系,根据三角函数关系即可计算获得折算后的不同地质剖面的构造变形量(表2)。其中,最小的构造变形量为3.70 km,最大的构造变形量为25.19 km。在此基础上,结合现今南天山盆山边界位置,在平面上对南天山的构造推覆距离进行标注,以此确定白垩系沉积早期盆地北部边界的南天山的南界位置。

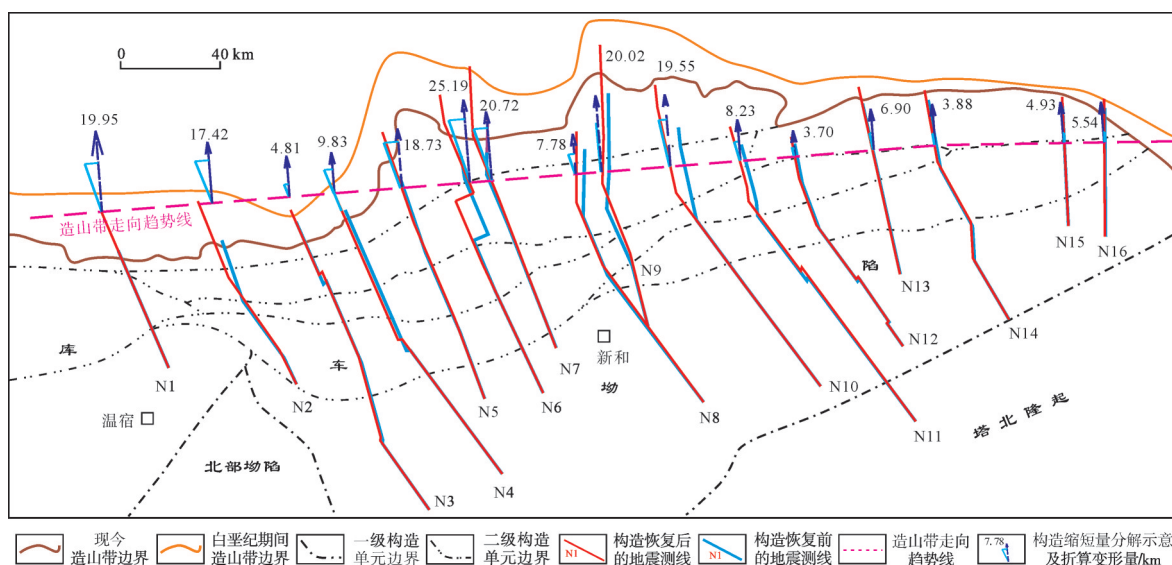


图3 根据构造平衡剖面计算确定的造山带边界

Fig. 3 The boundary of the orogenic belt based on structural balanced profiles

## 3 古地貌特征及成因

### 3.1 古地貌的隆坳格局

基于构造平衡剖面,在各条测线上每间隔2~3 km测量剖面恢复到白垩纪末时白垩系的厚度,利用Arcgis绘制白垩系厚度平面图,然后得出白垩系沉积前的构造古地貌(图4)。其具体特征如下:①库车坳陷白垩系沉积前发育多个沉降中心,其平面展布与南天山造山带近于平行,最大的沉降中心位于博孜25井北西方向约20 km处,另外在库北1井西北、克深1103井西北处、迪北2井西北处等也存在明显的沉降中心。②上述多个沉降中心在东西方向上表现出分段特征,即受深部古构造或者深部大型走滑断裂带影响,表现为自西至东的隆坳相间的地貌特征。③除了天山造山带,库车坳陷白垩系沉积前发育的多个古隆起可作为早白垩世的沉积物源,如温宿地区、拜城地区、西南区域

和东部区域。

总体来看,白垩系沉积前古地貌与现今白垩系残余厚度分布(图5)基本上相呼应,整体由北到南均呈现坳陷—隆起—坳陷的格局。两者不同的是:现今白垩系残余厚度从南部斜坡区到北部山前越来越大(图5),而古地貌图(图4)显示北部发育几个沉降中心,物源来自南部隆起和北部造山带,白垩系厚度自南部斜坡带到北部山前由薄变厚再变薄。之所以出现这样的差异,主要是因为后期造山作用将白垩系向南逆冲推覆,造成白垩系纵向上叠加使得现今白垩系残余厚度向北变大。

### 3.2 古地貌分区及成因

基于前述分析,将研究区白垩系沉积前古地貌自西至东依次划分为温宿凸起区、拜城低凸起区、中心沉降区、阳霞斜坡区和阳东低凸起区(图4,表3)。依据图4估算得出:不同分区间的地表高差介于1 211~

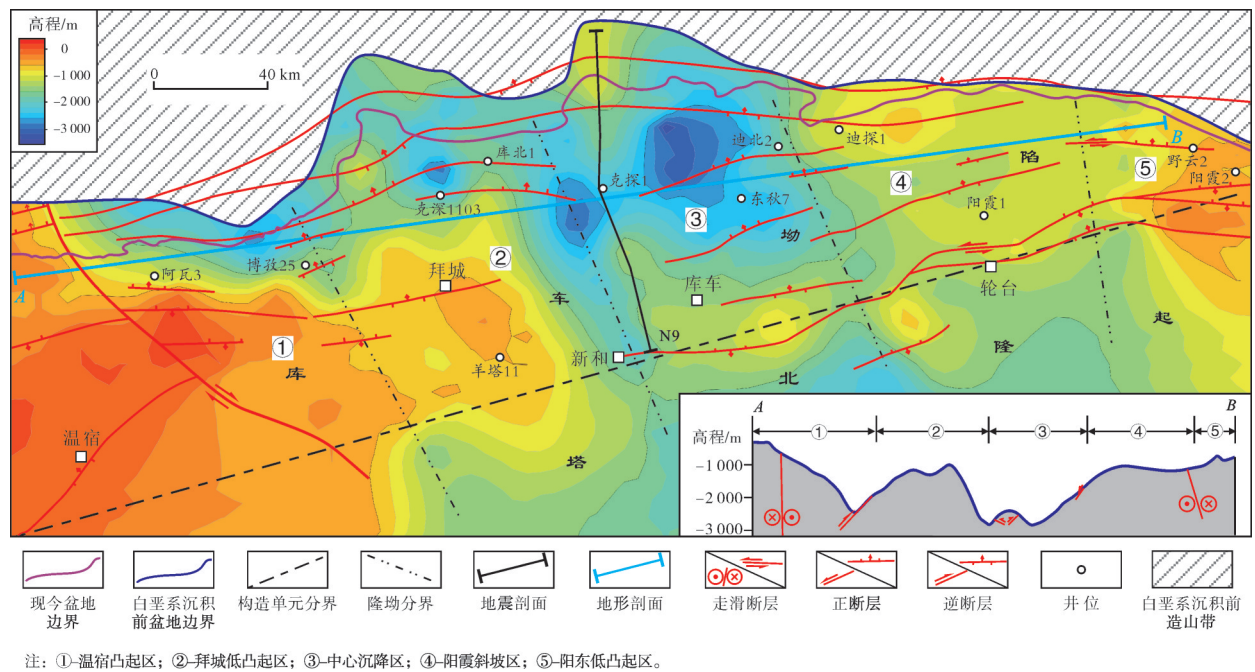


图4 库车坳陷白垩系沉积前古地貌及古断裂叠合图

Fig. 4 Superposition map of pre-Cretaceous paleogeomorphology and ancient fault in Kuqa Depression

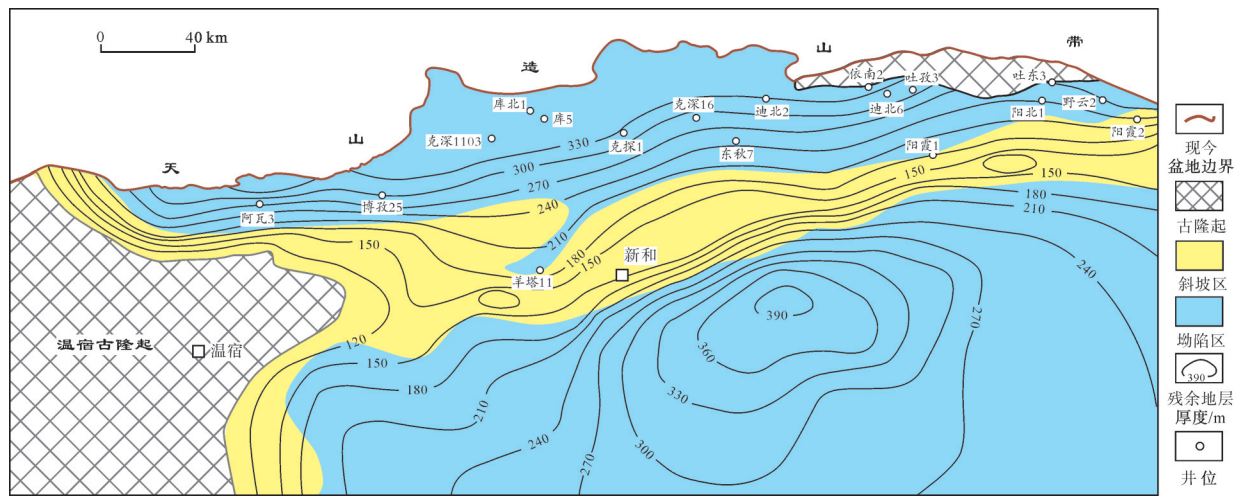


图5 库车坳陷白垩系残余厚度图（据文献[12]，修改）

Fig. 5 Residual thickness contour map of the Cretaceous in Kuqa Depression (cited from reference [12], modified)

表3 库车坳陷白垩系沉积前古地貌东西向分段特征汇总表

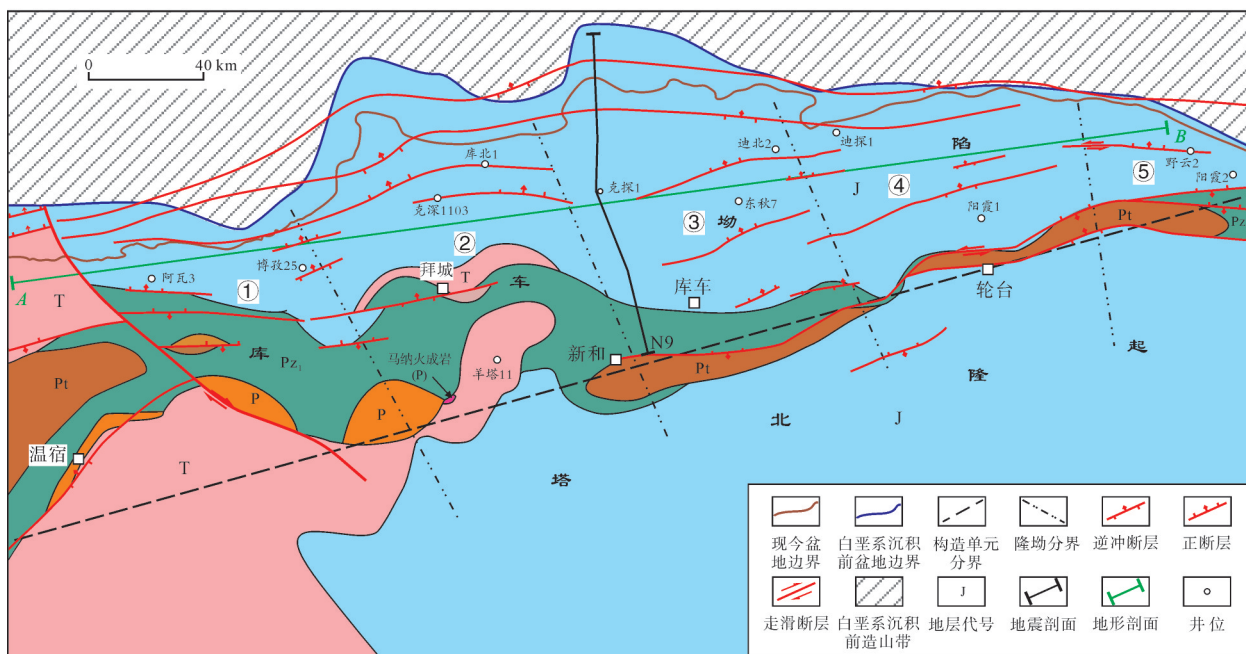
序号	分段名称	高程范围/m	地层构成	断层特征
1	温宿凸起区	-2 736~76	J、T、P、P <sub>z1</sub> 、Pt	逆断层、正断层、走滑断层
2	拜城低凸起区	-2 844~-380	J、T、P、P <sub>z1</sub> 、Pt	逆断层、正断层
3	中心沉降区	-3 403~-870	J、P <sub>z1</sub> 、Pt	逆断层、正断层、走滑逆断层
4	阳霞斜坡区	-1 840~-629	J、P <sub>z</sub> 、Pt	逆断层、正断层、走滑逆断层
5	阳东低凸起区	-1 600~-307	J、P <sub>z</sub> 、Pt	逆断层、走滑正断层

2 812 m,其中阳霞斜坡区高差最小,为1 211 m。

为探讨古地貌特征的成因,将每条地震剖面平衡恢复到侏罗纪末(图2),然后将断裂和地层分布投影到平面图上,绘制成库车坳陷侏罗纪末期古地质图,并将古断裂与白垩系沉积前古地貌分区进行叠合(图6)。由图6可见,侏罗纪末断裂和地层展布具有分区特征,且与古地貌分区具有相对一致性,表明古地貌分区特征受控于该时期的古构造作用。

在侏罗纪末期,库车坳陷发育多条北东东走向

的断层(图6),断层倾向以北西方向为主,以南东方向为辅,前者主要集中在阳霞—库车—拜城一线以北地区,后者集中分布在该线以南地区。断层性质上既有逆断层,也有正断层——侏罗纪库车坳陷处于伸展构造背景,在坳陷中部发育了正断层(图2),或者早期的逆断层发生了负反转作用而形成负反转断层。侏罗纪末期发生了构造反转,区域构造应力变成了由北向南的挤压力,在北部山前地带及前缘隆起带早期断层活化,发生逆冲断层作用,局部地区还具有走滑断层作用。



注: ①-温宿凸起区; ②-拜城低凸起区; ③-中心沉降区; ④-阳霞斜坡区; ⑤-阳东低凸起区。

图6 库车坳陷白垩系沉积前古地质图

Fig. 6 Pre-Cretaceous paleogeological map of Kuqa Depression

结合侏罗纪末期盆地北部边界的曲率变化特征(图6),可以发现在盆地边界向南凸出的区域,沿垂直于造山带的方向(即南东方向)可见多条断层的尖灭与衔接现象,或者断层走向的弯曲,同时也是前侏罗系发生尖灭和出露的地区,这些区域为古构造和古地貌分区的边界。据此推测,侏罗纪末期来自南天山的构造挤压应力,不仅造成多条逆冲断层的发育,也使得前侏罗系及基底等地质体发生变形,在不均匀构造挤压作用下,库车坳陷形成了东西分区的特征。

#### 4 古地貌对沉积的控制作用

古地貌对沉积体系的展布有重要控制作用。以早白垩世早期的亚格列木组为例,库车坳陷在该

组沉积期发育天山造山带、温宿—拜城古凸起、阳东古凸起等多个物源区(图4),在坳陷内部形成了南北两套沉积体系(图7)。

北部沉积体系以南天山物源为主,在坳陷东西两侧为扇三角洲沉积,在坳陷中部为辫状河三角洲沉积;南部沉积体系以温宿—拜城古凸起、阳东古凸起物源为主,主要发育小型的近源扇三角洲沉积<sup>[21-22]</sup>。储层特征的相关数据表明,扇/辫状河三角洲平原—前缘为有利储层发育相带。

北部沉积体系的扇/辫状河三角洲平原—前缘相带发育面积大,覆盖了克拉苏构造带、依奇克里克构造带及阳霞凹陷。其中克拉苏构造带发育逆冲推覆背景下的多排断背斜,是构造油气藏的有利发育区,目前已发现克探1气藏,探明天然气地质储

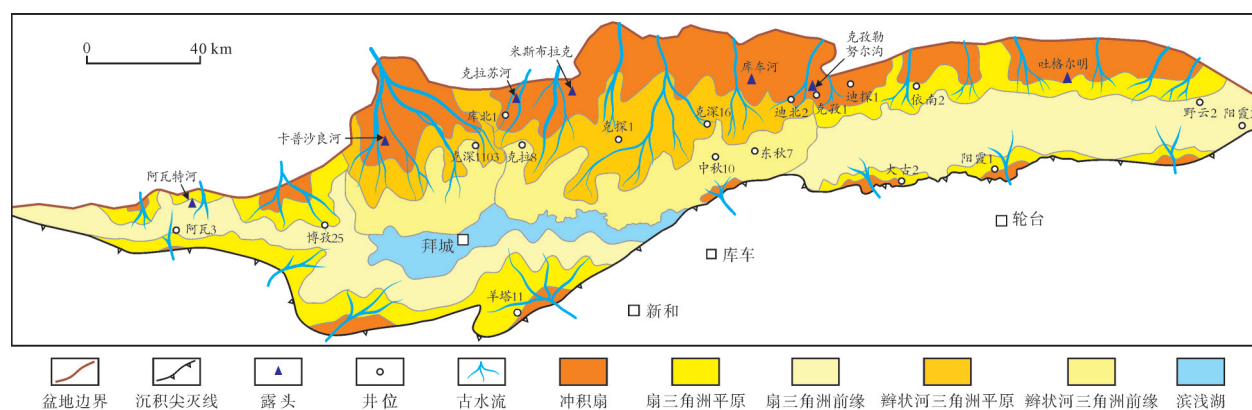


图7 库车坳陷白垩系亚格列木组沉积相平面图

Fig. 7 Sedimentary facies plan of the Cretaceous Yageliemu Formation in Kuqa Depression

量约  $300 \times 10^8 \text{ m}^3$ ; 依奇克里克构造带及阳霞凹陷以南倾斜坡为主, 是地层岩性油气藏的有利发育区, 野云2井在亚格列木组获日产气  $2\ 845 \text{ m}^3$ 。

南部沉积体系扇体规模较小, 扇三角洲平原—前缘相带展布范围局限, 且构造上为北倾斜坡, 因而油气藏类型也以地层岩性油气藏为主, 但目前勘探程度较低。羊塔11井、大古2井等井在亚格列木组已见到良好油气显示, 表明南部沉积体系也有较大的勘探潜力。

## 5 结 论

(1) 通过编制库车坳陷典型南北向地质剖面的平衡剖面, 得出各剖面构造缩短量介于  $3.74 \sim 26.02 \text{ km}$ , 构造缩短率介于  $3.76\% \sim 24.74\%$ , 构造变形量主要集中在南天山的山前地区。在此基础上, 利用地质剖面与造山带构造走向法线之间的夹角关系和构造缩短量, 厘定了白垩系沉积前古盆地边界位置, 古边界位于现今盆山边界以北, 距离  $3.70 \sim 25.19 \text{ km}$ 。

(2) 库车坳陷白垩系沉积前古地貌表现隆坳间的特征, 发育多个沉降中心, 在东西方向上表现出分段特征。古地貌可划分为5个区, 自西至东依次为温宿凸起区、拜城低凸起区、中心沉降区、阳霞斜坡区和阳东低凸起区。除了天山造山带, 库车坳陷白垩系沉积前发育多个构造隆起带, 可作为早白垩世的沉积物源。

(3) 古地貌分区特征受控于侏罗纪末期的古构造作用。侏罗纪末期来自南天山的构造挤压应力, 不仅造成多条逆冲断层的发育, 也使得前侏罗系及基底等地质体发生变形, 在不均匀构造挤压作用

下, 库车坳陷形成了东西分区特征。

(4) 古地貌控制库车坳陷早白垩世亚格列木组发育南北两套沉积体系: 北部沉积体系在坳陷东西两侧为扇三角洲, 在坳陷中部为辫状河三角洲; 南部沉积体系主要发育小型近源扇三角洲。扇/辫状河三角洲平原—前缘为储层有利相带。对于北部沉积体系, 克拉苏构造带是构造油气藏的有利发育区, 依奇克里克构造带和阳霞凹陷是地层岩性油气藏的有利发育区; 对于南部沉积体系, 以地层岩性油气藏为主。

## 参考文献

- [1] 邓宏文, 王红亮, 王敦则. 古地貌对陆相裂谷盆地层序充填特征的控制: 以渤中凹陷西斜坡区下第三系为例[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(4): 293–296, 303.  
DENG Hongwen, WANG Hongliang, WANG Dunze. Control of paleo-morphology to stratigraphic sequence in continental rift basins: take Lower Tertiary of western slope in Bozhong Depression as an example [J]. Oil & gas geology, 2001, 22(4): 293–296, 303.
- [2] CARR T R, ANDERSON N L, FRANSEEN E K. Paleogeomorphology of the upper Arbuckle karst surface: implications for reservoir and trap development in Kansas [J]. AAPG bulletin, 1994, 78: 117–120.
- [3] BRECKENRIDGE R M, OTHBERG K L, BUSH J H. Stratigraphy and paleogeomorphology of Columbia river basalt, eastern margin of the Columbia river plateau [C]// Geological Society of America abstracts with programs, 1997, 29(5): 6–10.
- [4] TONY J T. Reservoir characterization, paleoenvironment, and paleogeomorphology of the Mississippian redwall limestone paleokars, Hualapai Indian reservation, Grand Canyon area, Arizona [J]. AAPG bulletin, 2000, 4(11): 1875–1880.
- [5] 漆家福, 杨桥, 王子煜. 编制盆地复原古构造图的若干问题的讨论[J]. 地质科学, 2003, 38(3): 413–424.

- QI Jiafu, YANG Qiao, WANG Ziyu. Some problems about compiling a restored paleo-structural map of basin [J]. Chinese journal of geology, 2003, 38(3): 413-424.
- [6] 徐长贵, 赖维成, 薛永安, 等. 古地貌分析在渤海古近系储集层预测中的应用[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(5): 53-56.
- XU Changgui, LAI Weicheng, XUE Yongan, et al. Palaeo-geomorphology analysis for the Paleogene reservoir prediction in Bohai Sea area [J]. Petroleum exploration and development, 2004, 31(5): 53-56.
- [7] 姜正龙, 邓宏文, 林会喜, 等. 古地貌恢复方法及应用: 以济阳拗陷桩西地区沙二段为例[J]. 现代地质, 2009, 23(5): 865-871.
- JIANG Zhenglong, DENG Hongwen, LIN Huixi, et al. Methods and application of paleo-geomorphologies rebuilding: an example of the second member of Shahejie Formation, Zhuangxi area, Jiyang Depression [J]. Geoscience, 2009, 23(5): 865-871.
- [8] 王晨杰, 黄晓波, 郭涛, 等. 高精度古地貌恢复技术及应用: 以辽西凸起南段东营组二段下段为例[J]. 现代地质, 2017, 31(6): 1214-1221, 1240.
- WANG Chenjie, HUANG Xiaobo, GUO Tao, et al. High precision paleotopography restoration technology and its application: taking the second member of Dongying Strata in the south of Liaoxi Uplift as an example [J]. Geoscience, 2017, 31(6): 1214-1221, 1240.
- [9] 肖坤泽, 童亨茂, 杨东辉, 等. 莺歌海盆地新近纪以来古构造地貌恢复[J]. 石油实验地质, 2020, 42(2): 215-222.
- XIAO Kunze, TONG Hengmao, YANG Donghui, et al. Restoration of Neogene paleo-geomorphology of Yinggehai Basin [J]. Petroleum geology and experiment, 2020, 42(2): 215-222.
- [10] 段云江, 黄少英, 罗彩明, 等. 塔里木盆地库车拗陷盐构造变形平衡恢复及相关问题讨论[J]. 天然气地球科学, 2023, 34(5): 780-793.
- DUAN Yunjiang, HUANG Shaoying, LUO Caiming, et al. Discussion on balance restoration of salt structure deformation and related problems in Kuqa Depression, Tarim Basin [J]. Natural gas geoscience, 2023, 34(5): 780-793.
- [11] 周学文, 林会喜, 郭景祥, 等. 塔里木盆地库车拗陷南斜坡新和地区白垩系亚格列木组沉积模式及油气意义[J]. 石油实验地质, 2023, 45(2): 266-279, 392.
- ZHOU Xuewen, LIN Huixi, GUO Jingxiang, et al. Depositional model and petroleum significance of the Cretaceous Yageliemu Formation in Xinhe area on the southern slope of Kuqa Depression, Tarim Basin [J]. Petroleum geology and experiment, 2023, 45(2): 266-279, 392.
- [12] 吴高奎, 林畅松, 刘永福, 等. 库车—塔北地区中生代关键变革期主要不整合及古隆起地貌特征[J]. 石油与天然气地质, 2019, 40(4): 763-777.
- WU Gaokui, LIN Changsong, LIU Yongfu, et al. Characteristics of major unconformities and paleo-geomorphology during the Mesozoic key transformation stages in Kuqa-Tabei area [J]. Oil & gas geology, 2019, 40(4): 763-777.
- [13] 贾承造. 前陆冲断带油气勘探[M]. 北京: 石油工业出版社, 2000.
- JIA Chengzao. Exploration of oil and gas in the foreland thrust belt [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000.
- [14] 卢华复, 陈楚铭, 刘志宏, 等. 库车再生前陆逆冲带的构造特征与成因[J]. 石油学报, 2000, 21(3): 18-24.
- LU Huaifu, CHEN Chuming, LIU Zhihong, et al. The structural features and origin of the Kuqa rejuvenation foreland thrust belt [J]. Acta petrolei sinica, 2000, 21(3): 18-24.
- [15] 金之钧, 汤良杰, 杨明慧, 等. 中国中西部地区中生代陆内前陆盆地的主要特征[C]//中国石油天然气股份公司前陆盆地冲断带勘探技术研讨会论文集. 北京: 石油工业出版社, 2002: 47-56.
- JIN Zhijun, TANG Liangjie, YANG Minghui, et al. The main characteristics of the Meso-Cenozoic intracontinental foreland basins in central and western China [C]//Proceedings of the Seminar on Exploration Technology of Foreland Basin Thrust Belt by China National Petroleum Corporation. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002: 47-56.
- [16] 汤良杰, 邱海峻, 云露, 等. 塔里木盆地北缘—南天山造山带盆—山耦合和构造转换[J]. 地学前缘, 2012, 19(5): 195-204.
- TANG Liangjie, QIU Haijun, YUN Lu, et al. Analysis of basin-mountain coupling and transition of the northern Tarim Basin-southern Tianshan orogenic belt [J]. Earth science frontiers, 2012, 19(5): 195-204.
- [17] CHAI Shaoye, LI Chuanxin, LU Xuesong, et al. Geometry and kinematics of Tugerming structural belt in the east of Kuqa Depression, Tarim Basin [J]. Petroleum research, 2021, 6(4): 333-350.
- [18] 王珂, 肖安成, 曹婷, 等. 塔里木盆地库车拗陷北部构造带地质结构与油气勘探领域[J]. 地质学报, 2022, 96(2): 368-386.
- WANG Ke, XIAO Ancheng, CAO Ting, et al. Geological structures and petroleum exploration fields of the northern tectonic belt in the Kuqa Depression, Tarim Basin [J]. Acta geologica sinica, 2022, 96(2): 368-386.
- [19] LIANG Yilin, LIU Xianfeng, WU Nan, et al. Hydrocarbon accumulation model controlled by overpressure evolution in the Kelasu Thrust Belt of the Kuqa Depression, NW China [J]. Lithosphere, 2022, 200(Special 12): 7352101.
- [20] SCLATER J G, CHRISTIE P A F. Continental stretching: an explanation of the post-mid-Cretaceous subsidence of the central North Sea Basin [J]. Journal of geophysical research: solid earth, 1980, 85(B7): 3711-3739.
- [21] 王清华, 杨海军, 徐振平, 等. 塔里木盆地库车拗陷克探1井重大突破与勘探意义[J]. 中国石油勘探, 2023, 28(2): 1-10.

- WANG Qinghua, YANG Haijun, XU Zhenping, et al. Major breakthrough and exploration significance of Well Ketan 1 in Kuqa Depression, Tarim Basin[J]. China petroleum exploration, 2023, 28(2): 1–10.
- [22] 高志勇, 冯佳睿, 安海亭, 等. 库车前陆盆地白垩系亚格列木组浊流沉积特征与意义[J]. 沉积学报, 2013, 31(2): 237–247.
- GAO Zhiyong, FENG Jiarui, AN Haiting, et al. Sedimentary process and reservoir characteristics of turbidite fan of Cretaceous Yageliemu Formation in Kuqa foreland basin[J]. Acta sedimentologica sinica, 2013, 31(2): 237–247.

编辑:董庸

## Pre-Cretaceous paleogeomorphology and its control effect on sedimentation in Kuqa Depression

MO Tao<sup>1,2</sup>, WANG Ke<sup>3</sup>, WANG Junpeng<sup>3</sup>, JIN Wenzheng<sup>4</sup>

1. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina Tarim Oilfield Company;

2. Exploration and Development Technology Research and Development Center for Ultra Deep Complex Oil and Gas Reservoirs, CNPC;

3. PetroChina Hangzhou Research Institute of Geology; 4. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing

**Abstract:** Paleogeomorphology plays an important controlling role in the spatial distribution characteristics of sedimentation. Based on the structural restoration of 16 typical north–south geological profiles by using balanced cross-section techniques, the pre-Cretaceous paleogeomorphology in Kuqa Depression has been reconstructed, and its control effect on sedimentation has been analyzed. Firstly, based on the calculation of the shortening amount of the balanced profile, the northern boundary of the pre-Cretaceous sedimentary basin in Kuqa Depression is calculated. Then, based on the restored thickness data of the Cretaceous stratum, the pre-Cretaceous paleogeomorphology of Kuqa Depression is mapped. Finally, a paleogeological map of the Kuqa Depression at the end of the Jurassic is compiled based on the restored balanced profile, and the controlling effect of paleogeomorphology on sedimentation is analyzed. The results show that: (1) The north–south geological profile of the Kuqa Depression has a structural shortening amount ranging from 3.74 to 26.02 km since the Early Cretaceous, with a structural shortening rate ranging from 3.76% to 24.74%. The structural deformation is mainly concentrated in the mountainous areas of the southern Tianshan Mountains. Based on the calculation according to the angle between the geological profile and the normal to the structural strike, the current basin boundary has shifted southwards by a minimum of 3.70 km and a maximum of 25.19 km compared to the pre-Cretaceous boundary. (2) The pre-Cretaceous paleogeomorphology is characterized by alternating uplift and depression, which can be divided into Wensu uplift, Baicheng low uplift, central subsidence area, Yangxia slope, and Yangdong low uplift from west to east. The uneven structural compression stress on the north and south sides of the Kuqa Depression, as well as the lithological differences in the internal sedimentary strata, led to the occurrence of east–west zoning characteristics of paleogeomorphology. (3) Paleogeomorphology controls the development of two sets of sedimentary systems in the Early Cretaceous Yageliemu Formation in Kuqa Depression. The northern sedimentary system develops fan delta on the east and west sides of the depression, and braided river delta in the middle of the depression. In the northern sedimentary system, the Kelasu structural belt is the favorable development area of structural hydrocarbon reservoirs, and the Yiqikelike structural belt and Yangxia sag are the favorable development areas of stratigraphic–lithologic hydrocarbon reservoirs. The southern sedimentary system develops mainly small near-source fan deltas, and stratigraphic lithologic reservoirs.

**Key words:** paleogeomorphology; balanced profile; decompaction correction; depositional system; Cretaceous; Kuqa Depression

**MO Tao**, First author: Senior Engineer, mainly engaged in sedimentology, reservoir geology and petroleum accumulation of Kuqa foreland basin. Add: No. 26 Shihua Avenue, Korla, Xinjiang 841000, China. E-mail: motao-tlm@petrochina.com.cn

**WANG Ke**, Corresponding author: PhD, Senior Engineer, mainly engaged in reservoir geology. Add: No. 920 Xixi Rd., Hangzhou, Zhejiang 310023, China. E-mail: wangk\_hz@petrochina.com.cn