

文章编号:1000-0550(2014)05-0973-08

# 克拉苏冲断带白垩系储层成岩作用及其对储层质量的影响<sup>①</sup>

潘荣<sup>1</sup> 朱筱敏<sup>1</sup> 刘芬<sup>1</sup> 李勇<sup>2</sup> 张剑锋<sup>1</sup>

(1.中国石油大学(北京)地球科学学院 北京 102249;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** 利用大量岩石薄片、铸体薄片、测录井资料及岩芯观察等资料,对库车坳陷克拉苏冲断带白垩系巴什基奇克组储集层的岩石组分、成岩作用及孔隙类型特征等进行了系统研究。其岩石学特征为:成分成熟度低,分选中—好,磨圆次棱角状—次圆状,结构成熟度中等—偏低。储集空间为次生孔隙及原生孔隙。储层经历了压实、胶结、溶解、破裂等成岩作用,主要处于中成岩 A2-B 期。压实作用以机械压实为主,胶结作用主要为碳酸盐胶结;溶蚀作用导致碳酸盐胶结物、长石颗粒和少量岩屑溶解、破裂作用产生裂缝。在克拉苏断裂的上、下盘地层中,压实作用及胶结作用是孔隙减少的主要原因。断裂带上盘埋深较浅,抬升遭受表生溶蚀作用使得溶蚀孔隙非常发育;断裂带下盘埋深较深,压实和胶结作用使得储层致密化,后期构造挤压破裂作用形成的裂缝及溶蚀扩大缝有效地改善了深部储层物性。

**关键词** 库车坳陷 白垩系 砂岩储层 成岩作用 储层控制因素

**第一作者简介** 潘荣女 1985 年出生 博士研究生 沉积学及储层地质学 E-mail:rongfenxiang@163.com

**中图分类号** TE122.2 **文献标识码** A

## 0 引言

随着油气勘探开发的不断深入,常规储层勘探开发的潜力和产量有所降低,而低渗透油气资源在全球油气增储上产中扮演了越来越重要的角色,也越来越受到地质学家们的关注<sup>[1-4]</sup>。成岩作用对储层物性质量具有重要影响,国内外学者做了较多的研究<sup>[5-10]</sup>。柳益群等(1996)对陕甘宁盆地东部上三叠统延长组储层的研究表明,浊沸石、方解石及绿泥石的胶结作用、化学压实作用直接降低储层储集性能,而浊沸石、长石的溶解使砂岩物性得到改善<sup>[6]</sup>;朱筱敏等(2008)在对苏北盆地上白垩统泰州组砂岩成岩作用分析后指出,压实和胶结作用降低孔隙度,且碳酸盐胶结物含量小于 15% 时,胶结作用对储层质量影响较小,溶蚀作用形成了大量的粒间溶孔<sup>[7]</sup>;Morad 等(2010)认为成岩作用对大多数碎屑岩储层的质量和均质性有着重要的影响<sup>[8]</sup>;Ajdukiewicz 等(2010)对墨西哥湾侏罗纪深部 Norphlet 组储层研究认为,沉积作用后快速形成的绿泥石包壳(chlorite coats)是深埋储层(6 645 m)孔隙度达 20%,渗透率达  $200 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  的主要原因<sup>[9]</sup>;张霞等(2012)就自生绿泥石黏土对储层物性的影响,做过详细的研究,

其认为早成岩阶段形成的绿泥石衬里对储层具有双重影响,但建设性大于破坏性<sup>[10]</sup>。

白垩系是库车坳陷克拉苏冲断带油气勘探的主力层系之一,该冲断带白垩系三角洲砂岩储层质量直接影响主力油气产层的油气分布及富集程度,因此,探讨其成岩作用及其对储集层物性影响对于储层研究及油气勘探开发均具有重要意义。

## 1 研究区地质概况

克拉苏冲断带位于库车坳陷北部,北临北部单斜带,南为拜城凹陷,是目前库车坳陷油气最富集的构造带。克拉苏断裂为一条高角度断穿基底的断裂,该断裂形成于三叠纪,新近纪以来在南北向挤压作用下<sup>[11]</sup>,逆冲推覆活动较为强烈,上盘地层大幅度抬升,具有较大垂向位移,而下盘发育大量北倾的分支逆冲断层,形成楔状叠瓦构造带(图 1),以其为界,上盘为克拉苏区带,包括克拉区、吐北区;下盘为克深—大北区带,包括克深区及大北区。研究区内钻井揭示了第四系、新近系、古近系、白垩系及侏罗系等(总厚度可逾万米)。本次研究选取埋深差异大的克拉区和克深区,以白垩系储层为研究对象。克拉苏断裂活动直接造成克拉苏断裂上下盘储层埋深、成岩作用的

<sup>①</sup>国家 973 计划项目(编号:2011CB201104)、国家自然科学基金(批准号:41272133)与青年科学基金项目(批准号:41202107)联合资助  
收稿日期:2013-07-13;收修改稿日期:2013-09-28

明显差异。该区白垩系主要沉积类型有冲积扇、扇三角洲、辫状河三角洲等<sup>[12-14]</sup>。

近年来克拉苏冲断带白垩系的勘探已取得巨大的经济效益,巴什基奇克组为主力产层。以古近系库姆格列木群膏盐岩为界,丰富的盐下断块、断背斜圈闭和盐上背斜圈闭提供了广阔的勘探前景。研究区白垩系储层非均质性强,埋深大,直接影响了油气勘探效益。因此,通过对白垩系储集层的性质、成岩作用及有效储层发育控制因素等进行研究,以期对油气勘探开发提供依据。前人从沉积微相、构造挤压、成岩环境等方面对库车坳陷不同构造带白垩系储层控制作用做过研究<sup>[15-17]</sup>;也有学者对克拉苏冲断带下盘西段大北区块储层研究后指出,在稳定构造背景下发育的辫状河三角洲前缘环境下分选好的中—细砂岩,经历早期表生溶蚀、弱碳酸盐胶结作用及晚期构造破裂的叠加作用的储层为优质高产储层,溶蚀作用和构造作用为储层质量主控因素<sup>[18,19]</sup>。本文在前人研究工作的基础上<sup>[15-19]</sup>,基于研究区14口井的1081块岩石薄片、11口井的457块铸体薄片、5口井47块扫描电镜和45块阴极发光等样品观察,着重分析对比上盘克拉区及下盘克深区白垩系成岩作用和孔隙演化特征,讨论成岩作用对储集空间演化的控制作用及对储层质量的影响。

## 2 储集层岩石学特征

克拉苏断裂上盘克拉区白垩系巴什基奇克组储层埋深为约2300~4000 m,最大沉积厚度可达400余米;下盘克深地区巴什基奇克组储层埋深较深,约6500~8000 m,沉积厚度300余米,但因埋深深度大,大部分并未钻穿巴什基奇克组。整体上巴什基奇克组为一套粒度相对偏粗(砂砾岩、中粗砂岩、含砾细砂岩),单层砂体偏薄的三角洲沉积储集砂体。

上盘克拉地区白垩系巴什基奇克组储集岩主要为红褐色楔状交错层理中粗砂岩,岩石类型以长石质岩屑砂岩、岩屑砂岩为主(图2);石英平均含量48%,岩屑含量较高,平均值为38%,其中主要为变质岩岩屑,多为石英岩、片岩、千枚岩岩屑;长石平均含量约为14%;储层磨圆次棱角—次圆状为主,分选中—好;颗粒间以点—线接触为主,压实强度中等,胶结物以碳酸盐为主,含量约7.8%。下盘克深地区巴什基奇克组储层岩主要为红褐色楔状交错层理细砂岩、含泥砾细砂岩,较上盘克拉地区,砂体搬运距离变长,粒度略细;岩石类型以岩屑质长石砂岩为主(图2);石英平均含量48%,岩屑含量较克拉区有所降低,平均含量为23%,主要为变质岩岩屑,类型与克拉区一致;碳酸盐胶结物平均含量约7.3%;颗粒间接触关系

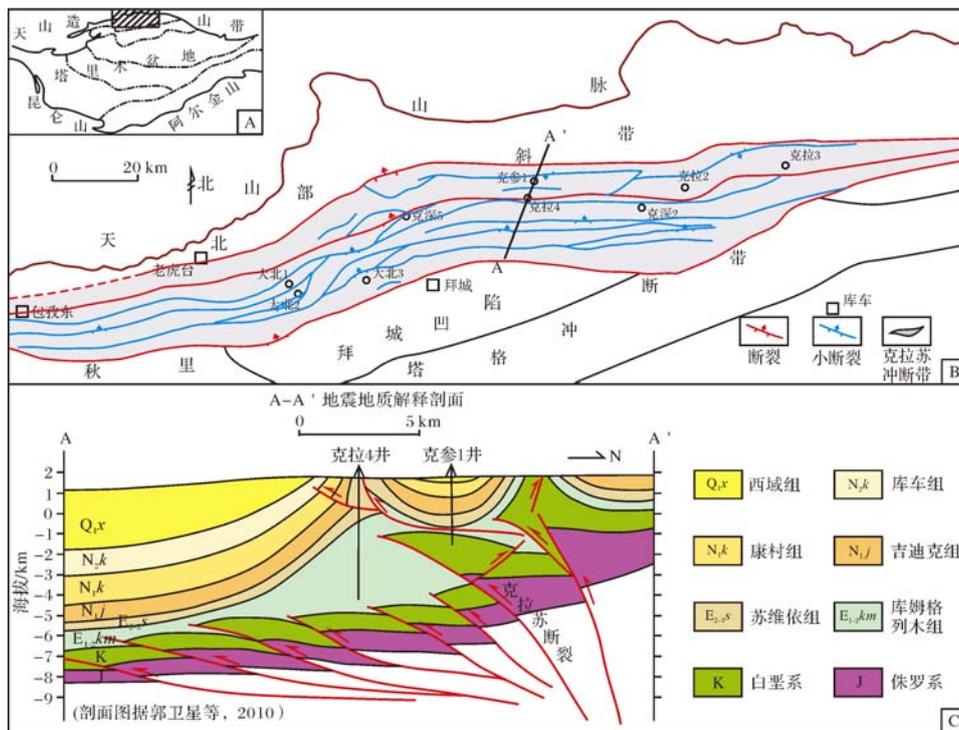


图1 库车坳陷克拉苏冲断带位置(A)、断裂分布图(B)及构造剖面图(C)

Fig.1 Location(A), distribution of faults(B) and tectonic section(C) in the Kelasu structure zone, Kuqa depression

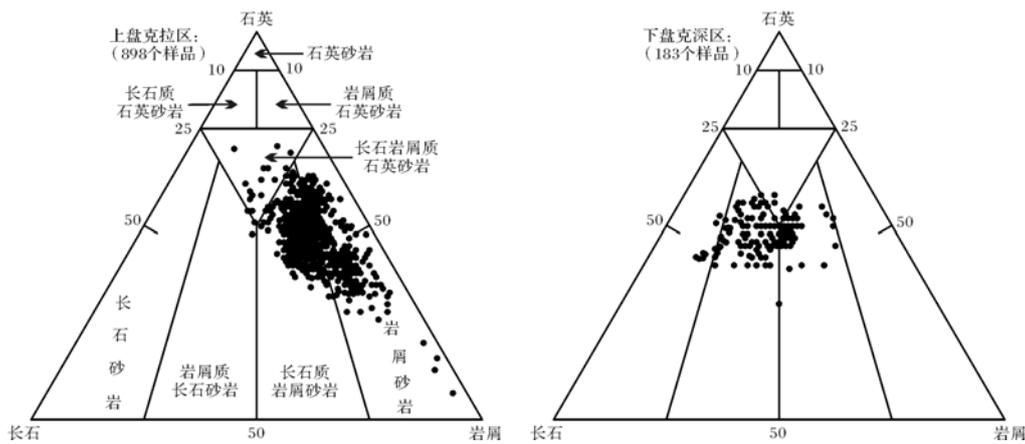


图2 克拉苏冲断带巴什基奇克组储层砂岩分类图

Fig.2 Classification plot for sandstones of the Bashijiqike Formation in the Kelasu structure zone

可见线接触—凹凸接触;在机械分异作用和沉积微相控制下,成熟度较上盘克拉区略有增高。总体上这套储集体具有成分成熟度较低、结构成熟度中等—偏低、成岩作用强—极强、分布广泛的特征。

### 3 储集层成岩作用类型及特征

对克拉苏冲断带白垩系巴什基奇克组储层的镜下观察分析表明,储层在沉积之后主要经历的成岩作用有压实作用、胶结作用、溶蚀作用和破裂作用。克拉苏冲断带白垩系储层胶结物包裹体均一温度分布范围为 $90^{\circ}\text{C} \sim 155^{\circ}\text{C}$ ,其主峰区间为 $90^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ ;储层中黏土矿物以伊/蒙混层、伊利石为主,其中伊/蒙混层中蒙脱石的平均含量为20%,克深地区部分埋深超过7 000 m的储层中伊/蒙混层中蒙脱石的平均含量为14.8%,据此判定巴什基奇克组储层主要处于中成岩A2期,克深地区部分埋深区成岩演化稍强,处于中成岩B期。储层压实作用及胶结作用较强。上盘克拉区溶蚀作用较强,次生溶蚀孔隙为主要的储集空间;下盘克深地区构造破裂作用造缝明显,对储层性质影响较大。

#### 3.1 压实作用

白垩系巴什基奇克组整体压实作用较强,以机械压实作用为主。平面上上盘克拉区巴什基奇克组粒度偏粗,埋深偏浅,视压实率40%~50%,压实强度中等;下盘克深区储集层粒度略细,靠近盆地腹部、地势偏低、埋藏较深、负荷压力大,视压实率70%~85%,压实强度强。纵向上,单井视压实率随着深度增加而增大。镜下可见颗粒被压碎(图3A),云母等塑性岩屑被压弯变形(图3B),克深区深部储层颗粒间接触

关系可达凹凸接触。

#### 3.2 胶结作用

巴什基奇克组储层的胶结作用总体较强,以碳酸盐胶结物为主,还可见黏土矿物、硅质、长石次生加大及硬石膏等,对储集层的孔隙空间和喉道有重要影响。上盘克拉区大部分样品视胶结率在80%以上,而下盘克深区储层视胶结率均在80%以上,胶结作用强。碳酸盐胶结物中方解石最为常见,也见铁方解石、白云石及铁白云石,早期的碳酸盐胶结物主要以基质形式存在,其砂岩碎屑颗粒之间的接触关系以不接触或点接触为主(图3C),缺少长的线接触,说明这种赋存状态的碳酸盐胶结物形成于有效压实作用发生前的较早的成岩阶段<sup>[20]</sup>,其有利于增强岩石的机械强度和抗压实能力<sup>[21,22]</sup>;晚期碳酸盐胶结物主要以晶粒状、连晶状产出,充填孔隙或是裂缝(图3D),破坏储层物性。黏土矿物主要为片状伊/蒙混层、片状伊利石,其次为高岭石和绿泥石。硅质胶结物主要为石英加大边和自生石英(图3E)。克深区偏光显微镜下偶见长石次生加大,扫描电镜中偶见放射状石膏(图3F)。

#### 3.3 溶蚀作用

从储层岩石铸体薄片显微镜下观察表明,颗粒溶蚀现象在克拉区较为常见,溶蚀对象主要是碳酸盐胶结物及岩石骨架中的不稳定颗粒(长石和岩屑),颗粒间碳酸盐胶结物溶蚀较为强烈,镜下偶见颗粒整体溶蚀而形成铸模孔(图3G)。上盘克拉区溶蚀增孔量为1.2%~18.7%,平均10.7%;下盘克深区溶蚀增孔量为0.5%~3.4%,平均1.7%。溶蚀作用主要发育于细砂岩、中砂岩储层中,产生的次生孔隙以粒间溶

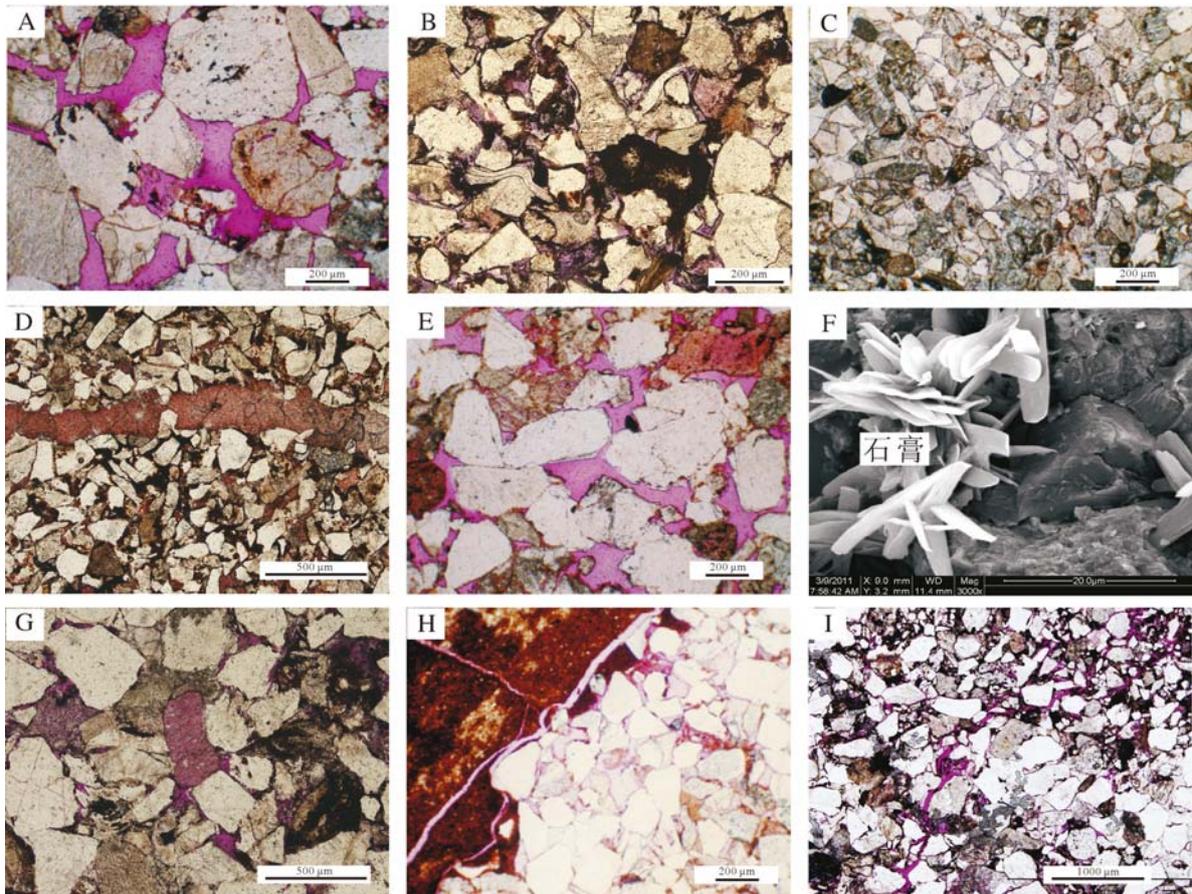


图3 克拉苏冲断带巴什基奇克组储集层显微特征

A. 克拉201井, 3 932.61 m, 铸体薄片, 孔隙发育, 见长石及岩屑粒内缝, 红色铸体; B. 克深207井, 6 795.35 m, 铸体薄片, 云母被压弯变形, 还可见粒间溶孔, 红色铸体; C. 克拉201井, 3 984.03 m, 铸体薄片, 方解石胶结致密, 颗粒间呈不接触或点接触; D. 克深202井, 6 766.01 m, 铸体薄片, 早期裂缝被方解石充填, 方解石被染色; E. 克拉201井, 3 931.96 m, 铸体薄片, 孔隙发育, 石英加大边清晰可见, 见长石及岩屑粒内溶孔, 红色铸体; F. 克深2002井, 6 855.11 m, 扫描电镜, 粒间孔隙充填石膏; G. 克深207井, 6 798 m, 铸体薄片, 溶蚀孔隙, 铸模孔, 红色铸体; H. 克拉201井, 3 736.26 m, 铸体薄片, 泥砾中间收缩缝, 红色铸体; I. 克深2井, 6 640 m, 铸体薄片, 构造缝切碎颗粒, 红色铸体。

Fig.3 Microscopic characteristics of the Bashijiqi Formation sandstone in Kelasu structure zone

孔、粒内溶孔为主, 次为粒缘溶孔。

### 3.4 破裂作用

新近纪以来, 由于受喜马拉雅运动的影响, 南天山造山带向塔里木盆地发生强烈逆冲, 库车坳陷受到强烈挤压<sup>[23]</sup>, 区内断层发育, 储层裂缝发育。破裂作用形成的裂缝是深部致密砂岩储层的重要储集空间, 同时也为后期流体贯入进行化学淋滤作用和水岩矿化作用提供良好通道。巴什基奇克组储层岩芯中可见宏观裂缝, 多为高角度缝; 镜下薄片可见成岩收缩缝、成岩压碎缝及构造缝(图3H, I)。克拉区裂缝增孔量为0.05%~4.77%, 平均0.37%; 克深区块裂缝增孔量为0.14%~1.81%, 平均为0.22%, 对克深区深埋致密的储集层来说, 储层质量改善明显。就裂缝发育程度相比较而言, 下盘克深区更为发育。

## 4 孔隙类型及孔隙发育特征

### 4.1 储层孔隙类型

根据研究区内的铸体薄片、扫描电镜的观察和统计, 发现储层孔隙几何形态复杂多样, 按其成因主要可分为原生孔隙和次生孔隙两大类。原生孔隙为岩石原始沉积下来就已经形成并保存至今的孔隙<sup>[24]</sup>, 可细分为粒间压实残余孔和粒间胶结充填残余孔。次生孔隙则是指在岩石埋藏过程中, 由各种淋滤、溶蚀、交代等成岩作用或其他地质因素如构造作用等形成的孔隙, 主要为粒间溶蚀孔、粒内溶孔、粒缘溶孔、构造缝、溶蚀缝、微孔隙、铸模孔, 其中上盘克拉区内溶蚀作用产生的溶蚀孔隙和下盘克深区构造作用产生的裂缝是主要的储集空间。巴什基奇克组储层铸

体薄片镜下面孔率较低,克拉区均值不足10%,克深区不足6%,但两地区铸体薄片镜下统计次生孔隙占孔隙空间的50%以上,次生孔隙的发育对研究区储层物性改善具有重要意义,因此,研究次生孔隙发育特征及孔隙的演化规律对有效优质储层的预测是有利的。

#### 4.2 断裂带上下盘储层孔隙演化差异

克拉苏断裂带上下盘白垩系储层的沉积物质、地层埋藏史以及储层成岩作用的差异,造成巴什基奇克组储层的孔隙演化特征及孔隙空间分布规律在断裂带的上下盘之间存在较大差异(图4)。

克拉苏冲断带的埋藏方式可划分为三个阶段:①早期缓慢浅埋阶段,上、下盘埋深均较浅,压实作用强度较弱,原生孔隙保存较好,早期方解石胶结物有效保存原生孔隙,白垩纪末期的构造抬升使得上下盘地层长期(30 Ma±)暴露剥蚀,大气水沿区域不整合面、风化裂缝、砂体渗入地下对储层产生淋滤溶蚀作用<sup>[15,19]</sup>;②中期快速深埋阶段,下盘克深区埋深最深可达8 000余米,压实作用较上盘克拉区强,压实及胶结作用共同减孔明显;③晚期差异调整,断裂上下盘出现显著差异演化,下盘克深区小幅抬升后继续深埋,构造挤压推覆减孔作用明显,但形成的裂缝及溶蚀作用有效改善了储层物性,上盘克拉区抬升至4 000余米,溶蚀增孔作用明显(图4)。

## 5 成岩作用对储层性质的控制

### 5.1 成岩物质控制储层质量

成岩物质对成岩作用具有明显的控制作用。克拉区及克深区储集岩岩石成分中,石英及石英岩岩屑等刚性颗粒含量较高,具有一定支撑岩石骨架、抵抗压实的作用,对原生孔隙有保护作用,且有利于后期次生孔隙的形成。对比断裂上下盘不同粒度的岩芯样品的物性分析结果表明(图5),粒度及埋深对储层质量均有影响,埋深浅且粒度偏粗的储层物性质量较好。克拉苏断裂上盘克拉区储层粒度偏粗,埋深浅,抗压能力强,中粗砂岩物性最好,平均孔隙度为13.44%;下盘克深区埋深普遍较深(>6 500 m),强烈的压实胶结作用使得储层致密化,不同粒度储层物性差异不大,相比而言中粗砂岩最好,平均孔隙度为4.19%,粉砂岩最差,平均孔隙度1.59%。

### 5.2 压实作用和胶结作用破坏储层物性

成岩物质是成岩作用进行的基础,由前述分析可知,上下盘不同岩石类型的储层物性均随埋藏深度增加而变差,可见压实作用对储层物性的影响。从Houseknecht(1987)<sup>[25]</sup>建立的评价压实作用与胶结作用相对作用大小评价图可知,断裂上盘克拉区块压实作用造成的平均原始孔隙损失率为54%,胶结作用造成的平均原生孔隙损失率为21%;下盘克深区块相应数据为80%,12%。可见压实作用和胶结作用

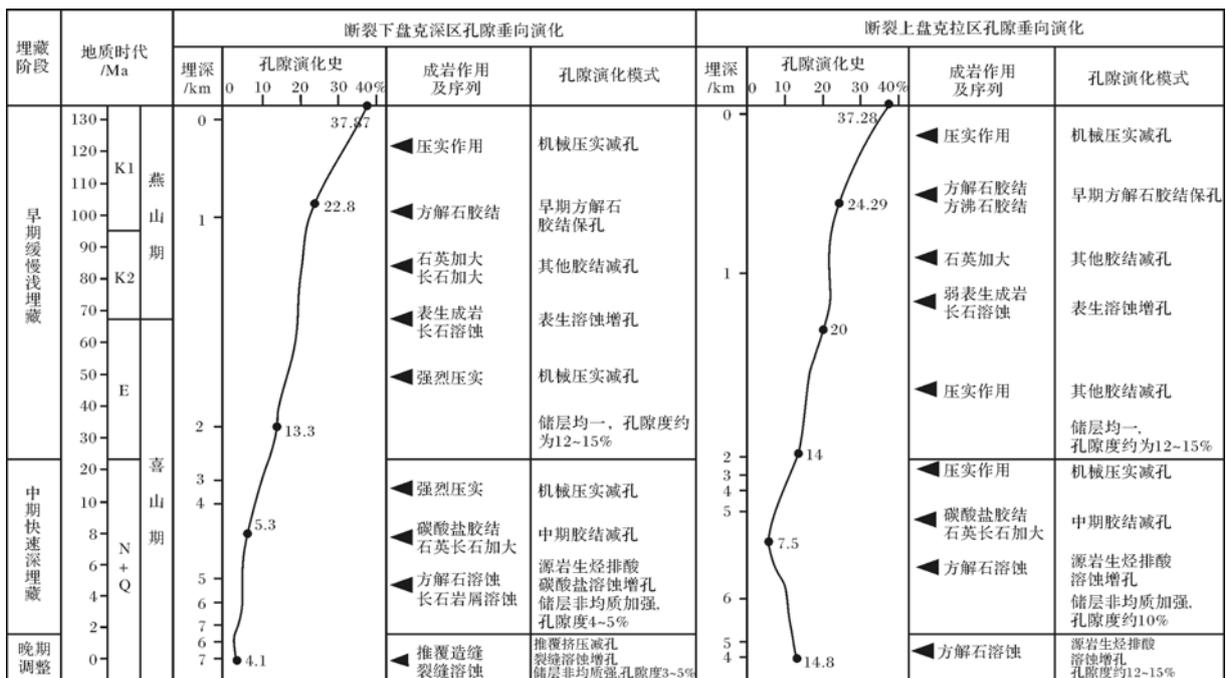


图4 克拉苏冲断带巴什基奇克组上下盘孔隙垂向演化特征

Fig.4 Vertical evolution of pores at the hanging and foot walls of the fault belt for the Bashijiqike Formation in Kelasu structure zone

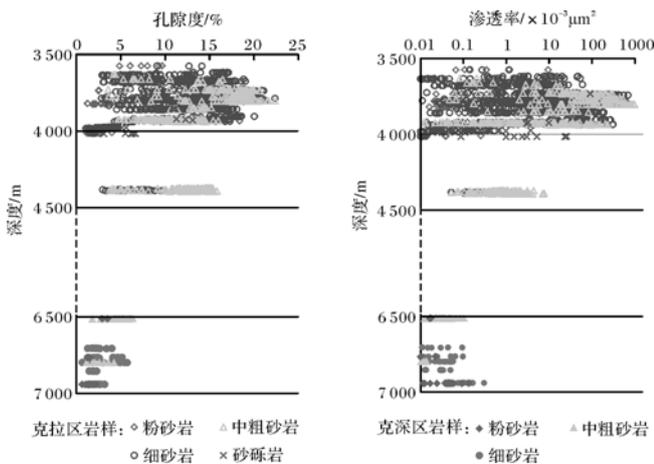


图5 克拉苏冲断带巴什基奇克组不同粒级砂岩储层物性  
Fig.5 Reservoir properties for the Bashijiqike Formation with different grain sizes in Kelasu structure zone

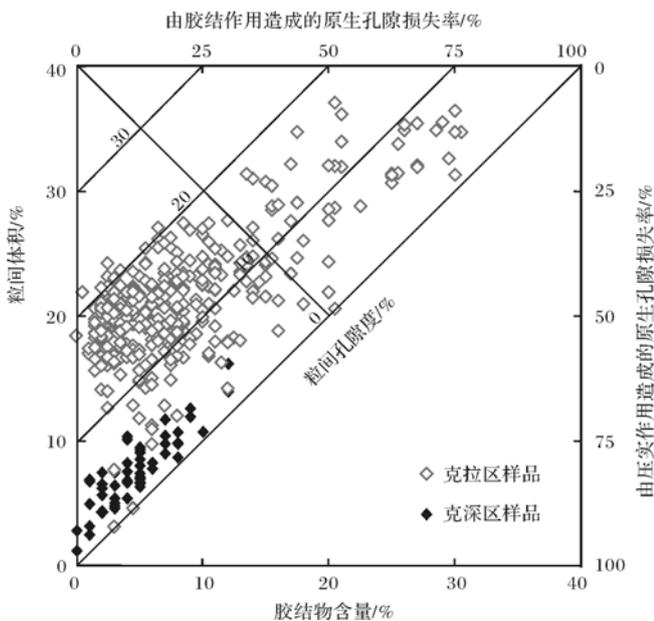


图6 克拉苏冲断带巴什基奇克组砂岩胶结物含量—粒间体积关系图  
(假定原始粒间体积为40%)  
Fig.6 Plot of intergranular volume vs. cement for the Bashijiqike Formation sandstone (with a depositional intergranular volume of 40%)

是造成白垩系巴什基奇克组储层原生孔隙损失的重要因素,压实作用对下盘克深区储层性质影响更大。

### 5.3 溶蚀作用和破裂作用有效改善储层物性

研究区白垩纪末期的构造抬升使得区内上白垩统剥蚀殆尽,下白垩统顶部不同程度被剥蚀,大气淡水对下白垩统地层的表生淋滤作用产生了丰富的次

生孔隙<sup>[15,19]</sup>。新近纪以来克拉苏断裂的冲断推覆活动产生了一系列断层,使得断层上盘克拉区抬升调整产生溶蚀作用,下盘克深区深埋压实储层产生裂缝。而克拉苏冲断带烃源岩成熟时间较晚,与溶蚀阶段相当,油气运聚时期的酸性水沿断层通道产生溶蚀作用<sup>[12,15]</sup>,下盘克深区储层内的裂缝也为流体运移提供通道(图3I),原有构造缝得到溶蚀扩大,有效改善储层物性。通过镜下薄片观察发现,克拉苏冲断带的溶蚀作用主要为碳酸盐胶结物的溶蚀,以及长石颗粒、部分岩屑的溶蚀(图3B,E,G)。

## 6 结论

(1) 克拉苏冲断带白垩系巴什基奇克组储层具有粒级相对偏粗,成分成熟度较低,胶结物以碳酸盐为主,分选中—好,磨圆次棱角—次圆状、结构成熟度中等—偏低的岩石学特征。

(2) 白垩系巴什基奇克组储层目前处于中成岩A2-B阶段,其主要成岩作用类型有压实作用、胶结作用、溶蚀作用及破裂作用。克拉苏断裂上、下盘的成岩作用强度、储层埋深差异明显。上盘克拉区储层粒度偏粗,埋深相对较浅,经历了中等强度的压实作用和较强胶结作用,保留部分原生孔隙,溶蚀作用产生了丰富的次生孔隙;下盘克深区储层埋深相对较深,压实作用和胶结作用更强,原生孔隙基本消失,主要为破裂作用和溶蚀作用形成的次生孔隙。

(3) 埋深浅且粒度偏粗的储层质量好,成岩作用对储层质量影响明显。压实作用及胶结作用直接导致原生孔隙明显减少,这两类成岩作用在克拉区造成75%的原生孔隙消失,克深区的原生孔隙损失率为92%;溶蚀作用及破裂作用使得储层质量得到有效改善。

(4) 近年来,随着克拉苏冲断带勘探程度的深入,油气勘探重点逐步转向断裂带中深层,但白垩系储层的深埋状态及储层非均质性严重制约油气勘探成效。因此,确定白垩系储集层成岩作用特征及其对物性的影响、孔隙演化特征,对进一步的油气勘探开发具有重要意义。

## 参考文献 (References)

- 1 Salem A M, Morad S, Mato L F, et al. Diagenesis and reservoir-quality evolution of fluvial sandstones during progressive burial and uplift: Evidence from the Upper Jurassic Boipeba Member, Reconcavo basin, northeastern Brazil[J]. AAPG Bulletin, 2000, 84(7): 1015-1040
- 2 查全衡,何文渊. 试论“低品位”油气资源[J]. 石油勘探与开发,

- 2003, 30(6): 5-7 [Zha Quanheng, He Wenyuan. A primary discussion on the "low grade resource" [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2003, 30(6): 5-7]
- 3 蒋凌志, 顾家裕, 郭彬程. 中国含油气盆地碎屑岩低渗透储层的特征及形成机理[J]. *沉积学报*, 2004, 22(1): 13-18 [Jiang Lingzhi, Gu Jiayu, Gu Bincheng. Characteristics and mechanism of low permeability clastic reservoir in Chinese petroliferous basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(1): 13-18]
  - 4 Shanley K W, Cluff R M, Robinson J W. Factors controlling prolific gas production from low-permeability sandstone reservoirs: Implications for resource assessment, prospect development, and risk analysis [J]. *AAPG Bulletin*, 2004, 88(8): 1083-1121
  - 5 Zhu Shifa, Zhu Xiaomin, Wang Xulong, *et al.* Zeolite diagenesis and its control on petroleum reservoir quality of Permian in northwestern margin of Junggar Basin, China [J]. *Science China: Earth Sciences*, 2012, 55(3): 386-396
  - 6 柳益群, 李文厚. 陕甘宁盆地东部上三叠统含油长石砂岩的成岩特点及孔隙演化 [J]. *沉积学报*, 1996, 14(3): 87-96 [Liu Yiqun, Li Wenhui. Diagenetic characteristics and porosity evolution of the oil-bearing arkoses in the Upper Triassic in the Eastern Shaan-Gan-Ning basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1996, 14(3): 87-96]
  - 7 朱筱敏, 刘长利, 张亚雄, 等. 苏北盆地上白垩统泰州组砂岩成岩序列和储集层质量主控因素分析 [J]. *古地理学报*, 2008, 10(5): 439-446 [Zhu Xiaomin, Liu Changli, Zhang Yaxiong, *et al.* Sandstone diagenetic succession and major factors controlling reservoir quality of the Taizhou Formation of Upper Cretaceous in Subei Basin [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2008, 10(5): 439-446]
  - 8 Morad S, Al-Ramadan K, Ketzer J M, *et al.* The impact of diagenesis on the heterogeneity of sandstone reservoirs: A review of the role of depositional facies and sequence stratigraphy [J]. *AAPG Bulletin*, 2010, 94(8): 1267-1309
  - 9 Ajdukiewicz J M, Nicholson P H, Esch W L. Prediction of deep reservoir quality using early diagenetic process models in the Jurassic Nophlet Formation, Gulf of Mexico [J]. *AAPG Bulletin*, 2010, 94(8): 1189-1227
  - 10 Zhang Xia, Lin Chunming, Cai Yuanfeng, *et al.* Pore-lining chlorite cements in lacustrine deltaic sandstones from the Upper Triassic Yanchang Formation, Ordos Basin, China [J]. *Journal of Petroleum Geology*, 2012, 35(3): 273-290
  - 11 郭卫星, 漆家福, 李明刚, 等. 库车坳陷克拉苏构造带的反转构造及其形成机制 [J]. *石油学报*, 2010, 31(3): 379-385 [Gu Weixing, Qi Jiafu, Li Minggang, *et al.* Inversion structure of Kelasu structure zone in Kuqa depression and its formation mechanism [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 31(3): 379-385]
  - 12 顾家裕, 方辉, 贾进华. 塔里木盆地库车坳陷白垩系辫状三角洲砂体成岩作用和储层特征 [J]. *沉积学报*, 2001, 19(4): 517-523 [Gu Jiayu, Fang Hui, Jia Jinhua. Diagenesis and reservoir characteristics of Cretaceous braided delta sandbody in Kuqa depression, Tarim Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2001, 19(4): 517-523]
  - 13 朱如凯, 高志勇, 郭宏莉, 等. 塔里木盆地北部白垩系—古近系不同段带沉积体系比较研究 [J]. *沉积学报*, 2007, 25(3): 325-331 [Zhu Rukai, Gao Zhiyong, Gu Hongli, *et al.* Comparison of different segmentations and zones during Cretaceous and Paleogene in North Tarim Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2007, 25(3): 325-331]
  - 14 潘荣, 朱筱敏, 刘芬, 等. 新疆库车坳陷克拉苏冲断带白垩系辫状河三角洲沉积特征及其与储集层发育的关系 [J]. *古地理学报*, 2013, 15(5): 707-716 [Pan Rong, Zhu Xiaomin, Liu Fen, *et al.* Sedimentary characteristics of braided delta and relationship to reservoirs in the Cretaceous of Kelasu tectonic zone in Kuqa depression, Xinjiang [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2013, 15(5): 707-716]
  - 15 沈扬, 马玉杰, 赵力彬, 等. 库车坳陷东部古近系—白垩系储层控制因素及有利勘探区 [J]. *石油与天然气地质*, 2009, 30(2): 136-142 [Shen Yang, Ma Yujie, Zhao Libin, *et al.* Controlling factors of the Paleogene-Cretaceous reservoirs and potential exploration areas in the eastern Kuqa depression [J]. *Oil & Gas Geology*, 2009, 30(2): 136-142]
  - 16 寿建峰, 朱国华, 张惠良. 构造侧向挤压与砂岩成岩压实作用——以塔里木盆地为例 [J]. *沉积学报*, 2003, 21(1): 90-95 [Shou Jianfeng, Zhu Guohua, Zhang Huiliang. Lateral structure compression and its influence on sandstone diagenesis: A case study from the Tarim Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003, 21(1): 90-95]
  - 17 韩登林, 李忠, 韩银学, 等. 库车坳陷克拉苏构造带白垩系砂岩埋藏成岩环境的封闭性及其胶结作用分异特征 [J]. *岩石学报*, 2009, 25(10): 2351-2362 [Han Denglin, Li Zhong, Han Yinxue, *et al.* Sealing feature of burial diagenesis environment and its controls on differentiation of cementation in Cretaceous sandstone reservoir in Kelasu structure zone, Kuqa depression [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 25(10): 2351-2362]
  - 18 刘春, 张惠良, 韩波, 等. 库车坳陷大北地区深部碎屑岩储层特征及控制因素 [J]. *天然气地球科学*, 2009, 20(4): 504-512 [Liu Chun, Zhang Huiliang, Han Bo, *et al.* Reservoir characteristics and control factors of deep-burial clastic rocks in Dabei zone of Kuche sag [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2009, 20(4): 504-512]
  - 19 张荣虎, 张惠良, 马玉杰, 等. 特低孔特低渗高产储层成因机制——以库车坳陷大北1气田巴什基奇克组储层为例 [J]. *天然气地球科学*, 2008, 19(1): 75-82 [Zhang Ronghu, Zhang Huiliang, Ma Yujie, *et al.* Origin of extra low porosity and permeability high production reservoirs: a case from Bashijiqike reservoir of Dabei oil field, Kuqa depression [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2008, 19(1): 75-82]
  - 20 张敏强, 黄思静, 吴志轩, 等. 东海盆地丽水凹陷古近系储层砂岩中碳酸盐胶结物及形成机制 [J]. *成都理工大学学报: 自然科学版*, 2007, 34(3): 259-266 [Zhang Minqiang, Huang Sijing, Wu Zhixuan, *et al.* Carbonate cements and their formation mechanism in Paleogene sandstones of Lishui sag, East China Sea Basin [J]. *Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition*, 2007, 34(3): 259-266]
  - 21 Ketzer J M, Morad S, Evans R, *et al.* Distribution of diagenetic alterations in fluvial, deltaic, and shallow marine sandstones within a sequence stratigraphic framework: Evidence from the Mullaghmore Formation (Carboniferous), NW Ireland [J]. *Journal of Sedimentary Re-*

- search, 2002, 72(6): 760-774
- 22 MΦrk M B E, Moen K. Compaction microstructures in quartz grains and quartz cement in deeply buried reservoir sandstones using combined petrography and EBSD analysis[J]. *Journal of Structural Geology*, 2007, 29(11): 1843-1854
- 23 宋岩,洪峰,夏新宇,等. 异常压力与油气藏的同生关系——以库车坳陷为例[J]. *石油勘探与开发*, 2006, 33(3): 303-308 [Song Yan, Hong Feng, Xia Xinyu, *et al.* Syngensis relationship between abnormal overpressure and gas pool formation[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2006, 33(3): 303-308]
- 24 朱世发,朱筱敏,刘振宇,等. 准噶尔盆地西北缘克一百地区侏罗系成岩作用及其对储层质量的影响[J]. *高校地质学报*, 2008, 14(2): 172-180 [Zhu Shifa, Zhu Xiaomin, Liu Zhenyu, *et al.* Jurassic diagenesis and its control on reservoir quality in Ke-Bai area, north-western margin of Junggar Basin[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2008, 14(2): 172-180]
- 25 Houseknecht D W. Assessing the relative importance of compaction processes and cementation to reduction of porosity in sandstones[J]. *AAPG Bulletin*, 1987, 71(3): 633-642

## Cretaceous Diagenesis and Its Control on Reservoir in Kelasu Structure Zone, Kuqa Depression

PAN Rong<sup>1</sup> ZHU Xiao-min<sup>1</sup> LIU Fen<sup>1</sup> LI Yong<sup>2</sup> ZHANG Jian-feng<sup>1</sup>

(1. College of Geosciences, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249;

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

**Abstract:** Based on a large number of thin sections, casting thin sections, logging data and core observation, the characteristics of rock components, diagenesis and pore types of Cretaceous Bashijiqike Formation in Kelasu structure zone are systematically studied. The results indicate that the petrological characteristics of sandstone reservoirs are low compositional maturity, middle-well sorted, low-middle textural maturity, sub-angular and sub-round. The effective reservoir spaces are secondary pore and primary pore. The reservoir under went compaction, cementation, dissolution and fissure. The reservoir has mainly entered stage A2-B of the middle diagenetic phase. The cementation is mainly of carbonate character. The mechanical compaction and cementation are the major reasons for reducing storage space. The pore space was affected by the dissolution of calcite cement, feldspar and fragments. Tectonic fracturing gave rise to new reservoir spaces. On the hanging wall of Kelasu fault, the burial depth of strata is shallower, and the storage space is characterized by secondary pores which have formed from the aerial dissolution by the uplifted strata. However, on the foot wall of the Kelasu fault, the burial depth of strata is deeper, and the reservoirs were densified because of compaction and cementation. The solution and fissure are important for improving the quality of the reservoir.

**Key words:** Kuqa depression; Cretaceous; sandstone reservoir; diagenesis; controlling factors of reservoir quality