

引用: 王清华, 杨海军, 徐振平, 等. 塔里木盆地库车坳陷克探 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.

# 塔里木盆地库车坳陷克探 1 井重大突破与勘探意义

王清华 杨海军 徐振平 杨宪彰 李勇 蔡振忠 周露

(中国石油塔里木油田公司)

**摘 要:** 塔里木盆地库车坳陷克拉苏构造带克探 1 井在白垩系亚格列木组下段砂砾岩获得重大突破, 实现了“克拉之下找克拉”的构想, 对白垩系深层勘探具有重要意义。通过对克探 1 井成藏条件、储层特征、构造模型的深入研究, 明确了克拉苏构造带侏罗系—三叠系供烃、白垩系亚格列木组裂缝型砂砾岩成储、上覆白垩系舒善河组泥岩成盖的生储盖组合, 并建立了“下生上储、垂向输导、立体成藏”新模式。克探 1 井的成功钻探, 证实了克拉苏构造带白垩系巴什基奇克组之下仍具备优越的储盖组合, 并且越向深层靠近烃源岩, 成藏条件越有利。同时亚格列木组断背斜圈闭成排成带, 展示出巨大的勘探潜力, 可形成新的天然气战略接替区。

**关键词:** 塔里木盆地; 库车坳陷; 白垩系; 亚格列木组; 克探 1 井

**中图分类号:** TE112.1 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-7703.2023.02.001

## Major breakthrough and exploration significance of Well Ketan 1 in Kuqa Depression, Tarim Basin

Wang Qinghua, Yang Haijun, Xu Zhenping, Yang Xianzhang, Li Yong, Cai Zhenzhong, Zhou Lu

(PetroChina Tarim Oilfield Company)

**Abstract:** A major breakthrough has been obtained in the glutenite reservoir in the lower member of the Cretaceous Yagelem Formation in Well Ketan 1 located in Kela 2 trap of Kela Structural Belt in Tarim Basin, realizing the idea of “discovering another Kela gas field below Kela Gas Field”, which is of great significance to the exploration of the deep Cretaceous. The in-depth study of hydrocarbon accumulation conditions, reservoir physical properties and structural model in Well Ketan 1 is conducted, which supports to identify the hydrocarbon accumulation assemblage of “hydrocarbon supply by source rock in the Jurassic-Triassic, fractured type sandstone reservoir in Yagelem Formation, and mudstone cap rock in Shushanhe Formation” and establish a new hydrocarbon accumulation pattern of “lower generation and upper storage, vertical transport and stereoscopic accumulation” in Kela Structural Belt. The successful drilling of Well Ketan1 confirms that there is superior reservoir-cap rock assemblage below the Cretaceous Bashijiqik Formation in Kela Structural Belt, and the hydrocarbon accumulation conditions are more favorable when approaching to the deep source rock. In addition, the fault-anticline traps in Yagelem Formation are developed in rows and belts, which show great resource potential and can form a new strategic replacement area for gas exploration.

**Key words:** Tarim Basin, Kuqa Depression, Cretaceous, Yagelem Formation, Well Ketan 1

## 0 引言

塔里木盆地是我国陆上最大的含油气盆地, 油气成藏条件优越, 也是西气东输的重要气源地。而塔里木盆地目前探明的天然气地质储量 90% 以上集中在

库车坳陷, 库车坳陷的勘探虽历经坎坷, 但成果颇丰。1998 年在克拉苏构造带东段克拉 2 井取得重大突破, 2008 年克深 2 井钻探成功, 促进克拉苏构造带天然气勘探大发现、大发展。截至目前已发现气藏 39 个, 探明天然气地质储量超过  $1.4 \times 10^{12} \text{m}^3$ , 落实克拉—

基金项目: 国家重点研发项目“塔里木盆地盐下超深层大型油气田形成机理与分布预测”课题“塔里木盆地盐下超深层油气分布规律及有利勘探区带评价”(2019YFC0605505)。

第一作者简介: 王清华 (1968—), 男, 湖北潜江人, 博士, 2007 年毕业于浙江大学, 教授级高级工程师, 现主要从事塔里木盆地油气勘探研究工作。地址: 新疆库尔勒市石化大道 26 号中国石油塔里木油田公司, 邮政编码: 841000。E-mail: wqh-tlm@petrochina.com.cn

收稿日期: 2022-12-28; 修改日期: 2023-03-01

克深、博孜一大北两个万亿立方米大气区,主力勘探层系为白垩系巴什基奇克组<sup>[1-2]</sup>。随着勘探开发的不断深入,克拉苏构造带圈闭越打越少、越打越小,勘探进入瓶颈期,加快落实天然气接替领域迫在眉睫。

白垩系亚格列木组在库车坳陷北部露头区以砾岩为主,粒度粗、物性差,长期以来没有作为目的层进行系统研究。近年来,中秋10井、克深603井、克拉8井在亚格列木组均见到良好显示,但因主要目的层为巴什基奇克组,均未钻遇亚格列木组有效圈闭范围,所以并未见到工业油气流。鉴于此,对亚格列木组重新开展系统研究,认为亚格列木组从库车坳陷北部到南部,地层加厚、岩性变细、物性变好,从而提出了“克拉之下找克拉”,克拉苏大气田之下超深层靠近生烃中心,储盖组合配置优越,仍具备形成大油气田的条件。

本文以克探1井发现为契机,总结了克拉苏构造

带多层系立体成藏模式,旨在为其他具备类似地质条件的地区提供勘探参考和借鉴。

## 1 地质概况

库车坳陷位于塔里木盆地北部,北与南天山断裂褶皱带以逆冲断层相接,南为塔北隆起,东起阳霞凹陷,西至乌什凹陷,是一个以中—新生界沉积为主的叠合型前陆盆地(图1)。库车坳陷自北向南划分为北部构造带、克拉苏构造带、拜城凹陷、秋里塔格冲断带<sup>[3-8]</sup>。克拉苏构造带自西向东可划分为4段,分别为阿瓦特段、博孜段、大北段、克深段,由北向南发育5条一级大断裂,分别为克北断裂、博孜—克拉断裂、克拉苏断裂、克深断裂和拜城断裂,并以此划分为4个断裂构造带,分别为博孜—克拉断裂带、克深断裂带、拜城断裂带和拜城南断裂带<sup>[9-11]</sup>。本文研究的克探1井位于克拉苏构造带内。

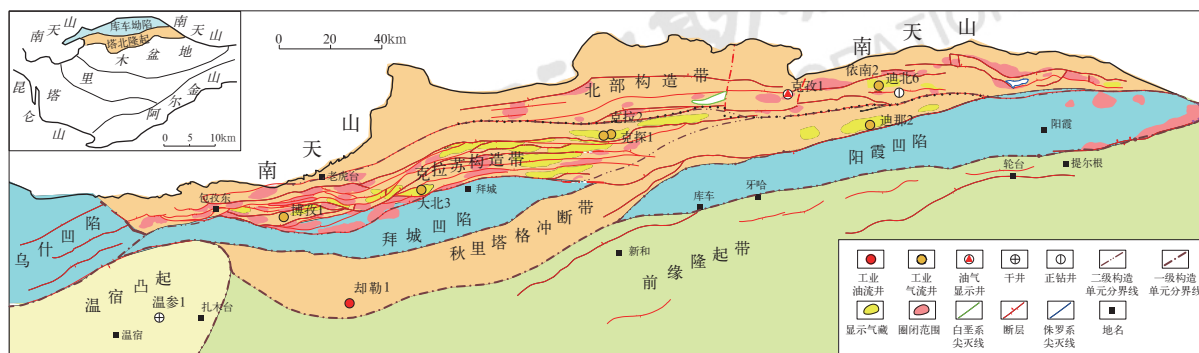


图1 库车坳陷构造单元分布图

Fig.1 Division of structural units in Kuqa Depression

受海西—印支期古构造影响,库车坳陷中生界整体发育海(湖)陆过渡相,为多套细砾岩、砂砾岩、中砂岩夹煤层及泥岩的三角洲—湖泊沉积体系<sup>[12-13]</sup>。其中,上三叠统黄山街组、下侏罗统阳霞组碳质泥岩段、中侏罗统恰克马克组及下白垩统舒善河组沉积期,发生大规模区域性海(湖)泛事件<sup>[14]</sup>,形成了该区优质烃源岩和盖层。受4期区域性海(湖)泛控制,库车坳陷发育五大沉积旋回,形成了三叠系塔里奇克组,侏罗系阿合组、阳霞组、克孜勒努尔组,白垩系亚格列木组、巴西改组、巴什基奇克组7套优质储层,其中阿合组、亚格列木组、巴什基奇克组3套储层及储盖组合区域上均有分布<sup>[15-18]</sup>,巴什基奇克组已经发现克拉苏大气田、阿合组已发现多个油气藏(图2)。

白垩系亚格列木组与巴什基奇克组属于同一成藏体系,上覆舒善河组泥岩盖层,同时紧邻侏罗系—三

叠系烃源岩,成藏条件更加有利。

## 2 白垩系亚格列木组油气地质特征

鉴于克拉苏气田目前勘探现状,为加快落实接替领域、实现克拉苏气田持续上产,分别从烃源岩条件、沉积储层、盖层条件等方面开展了白垩系亚格列木组勘探潜力与方向的重新认识。

### 2.1 钻探情况

克探1井亚格列木组圈闭为构造型断背斜圈闭,受南北两条对冲断裂控制,圈闭面积为49.1km<sup>2</sup>,幅度为620m,高点埋深为5320m(图3)。克深1井于2022年4月2日开钻,2022年10月2日完钻,完钻井深为5250m,完钻层位为侏罗系齐古组。目的层白垩系亚格列木组顶面实钻深度为5096m,克探1井亚格列木组钻厚130m。

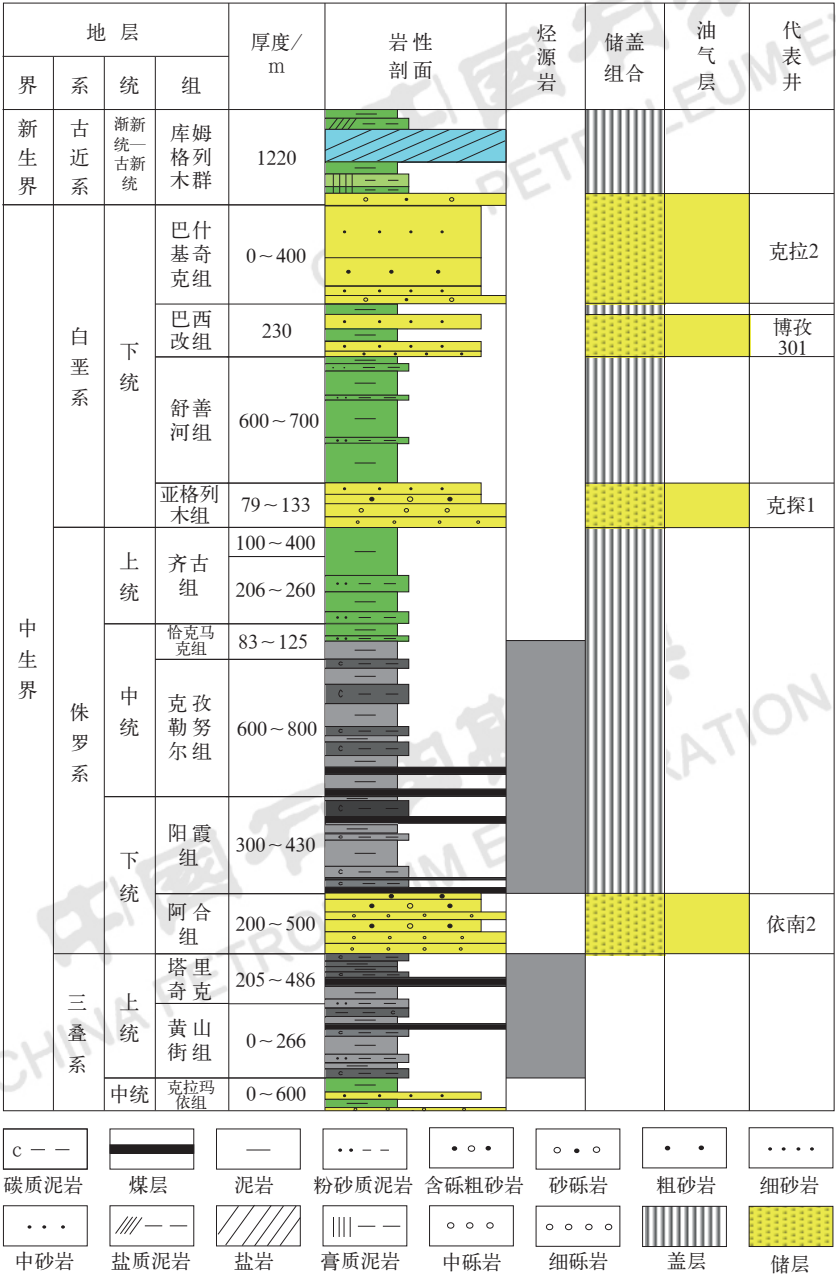


图 2 库车坳陷中生界储盖组合综合柱状图

Fig.2 Comprehensive stratigraphic column of the Mesozoic reservoir-cap rock assemblage in Kuqa Depression

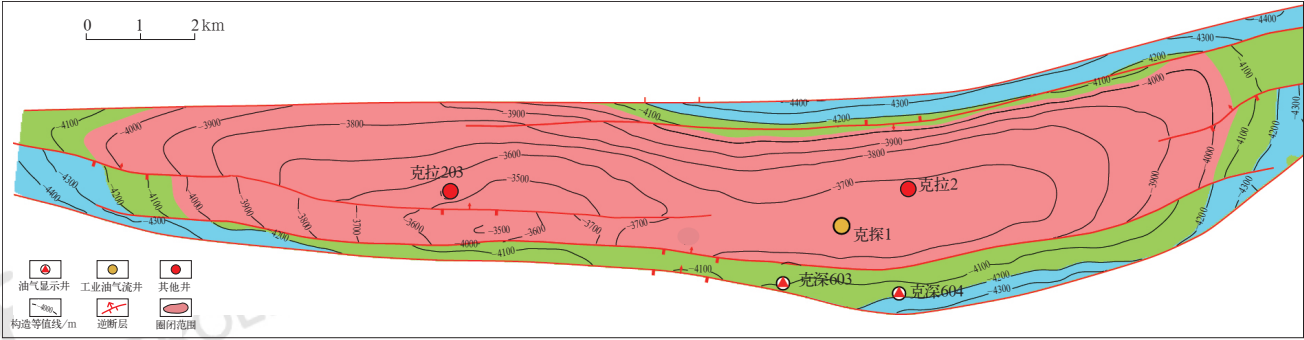


图 3 克探 1 井白垩系亚格列木组顶面构造图

Fig.3 Top structural map of the Cretaceous Yagelem Formation with Well Ketan 1

地层			GR/ API	深度/ m	归位 岩性	取心 归位	M2R3/ ( $\Omega \cdot m$ )	DEN/ ( $g \cdot cm^{-3}$ )	孔隙度/ %	渗透率/ mD	$S_g$ / %	全烃/ %	录井 解释	测井 解释	成像裂缝 倾角/(°) 0°—190°	成像 测井	试油 井段						
系	组	段	BIT/ in				5	15				M2R6/ ( $\Omega \cdot m$ )						CNL/ %	100	0	10	0	10
			CAL/ in				5	15				M2RX/ ( $\Omega \cdot m$ )						DT/ ( $\mu s \cdot ft^{-1}$ )	140	40	0	100	0
白垩系	舒善河组	5096m																					
		5109m																					
	上段	5149m																					
亚格列木组	5150m																						
	5200m																						
侏罗系	齐古组	5226m																					
		5250m																					

泥岩

粉砂质泥岩

泥质粉砂岩

粉砂岩

细砂岩

含砾粗砂岩

砂砾岩

细砾岩

中砾岩

气层

差气

Fig.4 Four-property relationship diagram of the Cretaceous Yagelem Formation in Well Ketan 1

本文结合构造背景,在克拉苏三维工区内对库车坳陷三叠系和侏罗系烃源岩进行精细刻画,落实了烃源岩分布及生烃中心。研究表明,海西晚期—印支期古冲断带和区域断裂控制三叠系、侏罗系沉积与烃源岩分布。三叠系湖相烃源岩平面上受古断裂控制,东西向呈多个条带状分布,发育7个厚值

区,厚度为100~500m,克拉苏构造带厚度最大,在300~500m之间,克探1井位于三叠系生烃中心,三叠系烃源岩厚度可达300m以上;侏罗系煤系烃源岩受古断裂影响较小,平面上受沉积相控制,泥质烃源岩发育大北—克深、依南—迪那两个厚值区,厚度为200~700m,煤及碳质泥岩分布在北部构造带,厚度为50~150m,克探1井同样位于侏罗系生烃中心,侏罗系烃源岩厚度可达700m以上<sup>[19-20]</sup>(图5)。



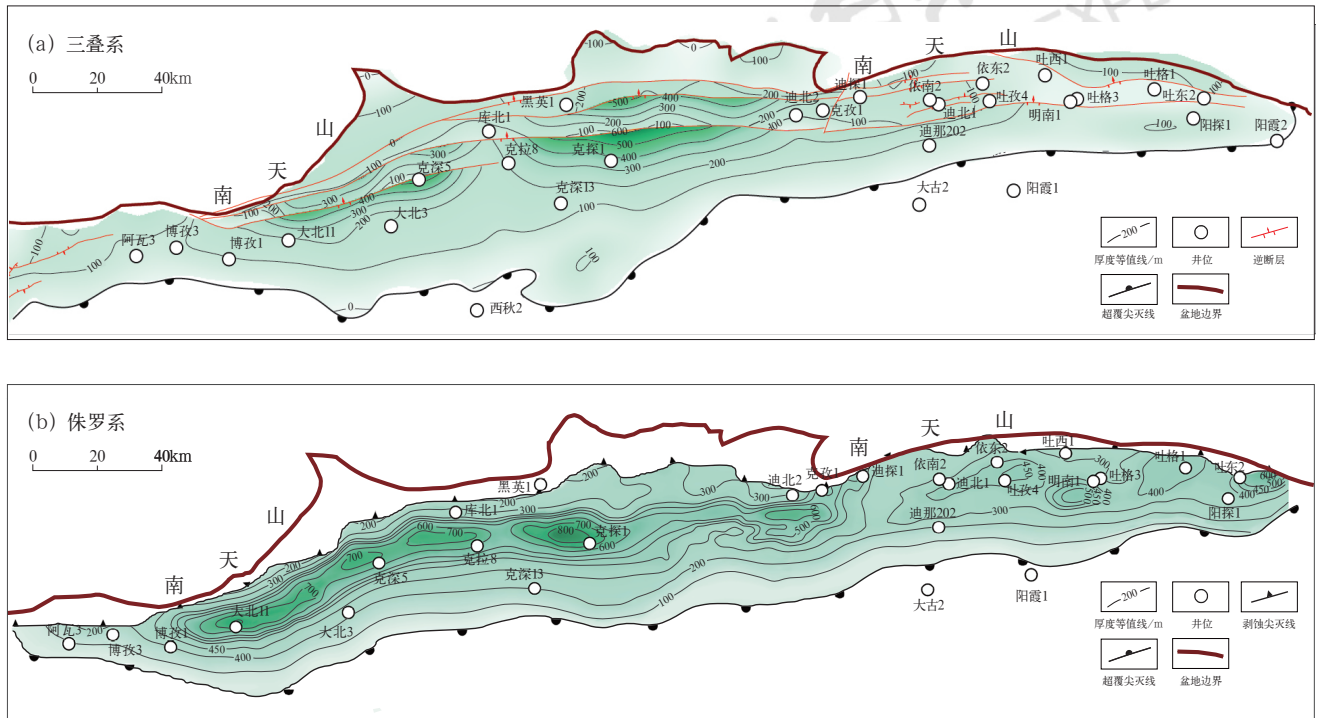


图5 库车坳陷烃源岩厚度图

Fig.5 Source rock thickness map in Kuqa Depression

### 2.3 储层稳定分布、规模连片

亚格列木组在库车坳陷以冲积扇、扇三角洲沉积为主，中部以辫状河三角洲沉积为主（图6）。从露头区来看，亚格列木组可以划分为上下两段，库车河露头亚格列木组下段为浅灰色厚层块状砾岩，局部夹中一细砂岩，含叶肢介、孢粉、介形类及轮藻等化石，大型板状、槽状交错层理指示多期河道叠置迁移特征；上段为灰色、灰紫色、绿灰色中至薄层状细砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩不等厚互层。卡普沙良河露头亚格列木组下段为浅紫色、紫灰色厚层中一细砾岩，砾石成分复杂；上段为浅紫色、灰绿色砂岩薄互层，底部夹中一细砾岩，砾石分选差，呈圆状一次圆状。从钻井情况来看，亚格列木组主要发育厚层细砂岩、砂砾岩夹薄层泥岩。克探1井钻穿亚格列木组，厚度约130m，同样可划分为上下两段，下段岩性以细砾岩、砂砾岩及含砾粗砂岩为主；上段岩性以细砂岩及少量粉砂岩夹薄层泥岩为主。从物源上来看，亚格列木组以北部物源为主，北部露头区靠近物源，粒度最粗，厚度薄，以“城墙砾岩”为主，厚度为50~100m；克拉苏构造带亚格列木组沉积厚度最大，岩性下段为砾岩、上段为砂泥岩，厚度为

150~250m；南部拜城凹陷远离物源，以砂泥岩为主，厚度为50~150m。从地震上来看，白垩系亚格列木组表现为“两峰夹一谷”的特征，在克拉苏构造带内横向连续，可对比追踪，稳定分布、规模连片。

从岩心和铸体薄片来看，白垩系亚格列木组孔隙度普遍低于4%，储集性能较差，但亚格列木组向盆地内部逐渐相变为扇三角洲/辫状河三角洲沉积，其中三角洲前缘相带的中一细砂岩物性最好，岩心实测孔隙度可达12%，储集空间主要为原生粒间孔、粒间溶蚀扩大孔和粒内容孔（图7a）。例如克深16井亚格列木组厚度为117m，平均孔隙度为5.4%~7.0%。亚格列木组储层发育中低角度缝、高角度一直立缝和微裂缝（图7b—d），充填程度较低，裂缝有效性高，其中克探1井钻揭亚格列木组131m，成像测井解释裂缝54条，裂缝密度为0.41条/m，倾角为10°~80°，走向以近EW向为主，裂缝是亚格列木组得以形成规模有效储层的重要条件。从克探1井实钻来看，亚格列木组为裂缝型砂岩储层，具有强非均质性，纵向上储集性能差异大，整体上分为上下两个岩性段，下段砂砾岩段测井物性较好，储集空间为原生粒间孔、粒间溶蚀扩大孔和微裂缝（图7e、f）。

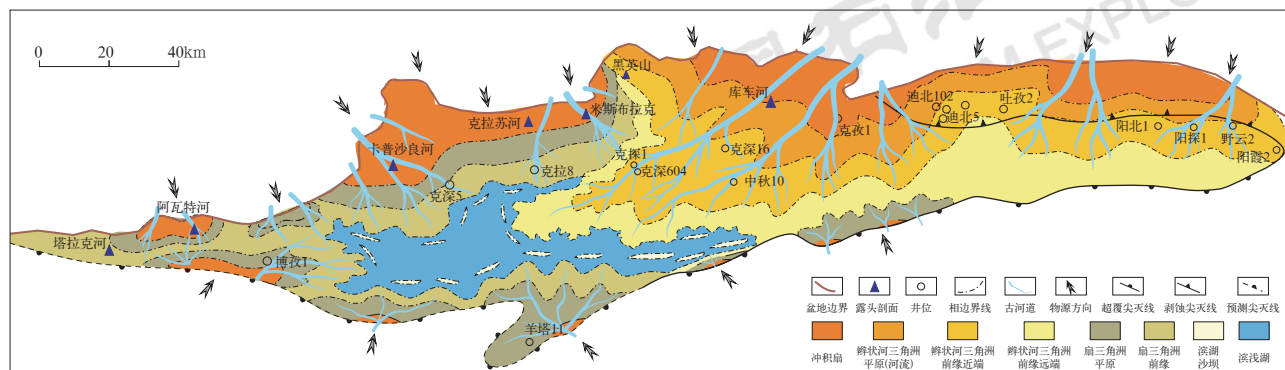


图6 库车坳陷白垩系亚格列木组沉积相图

Fig.6 Sedimentary facies map of the Cretaceous Yagelem Formation in Kuqa Depression

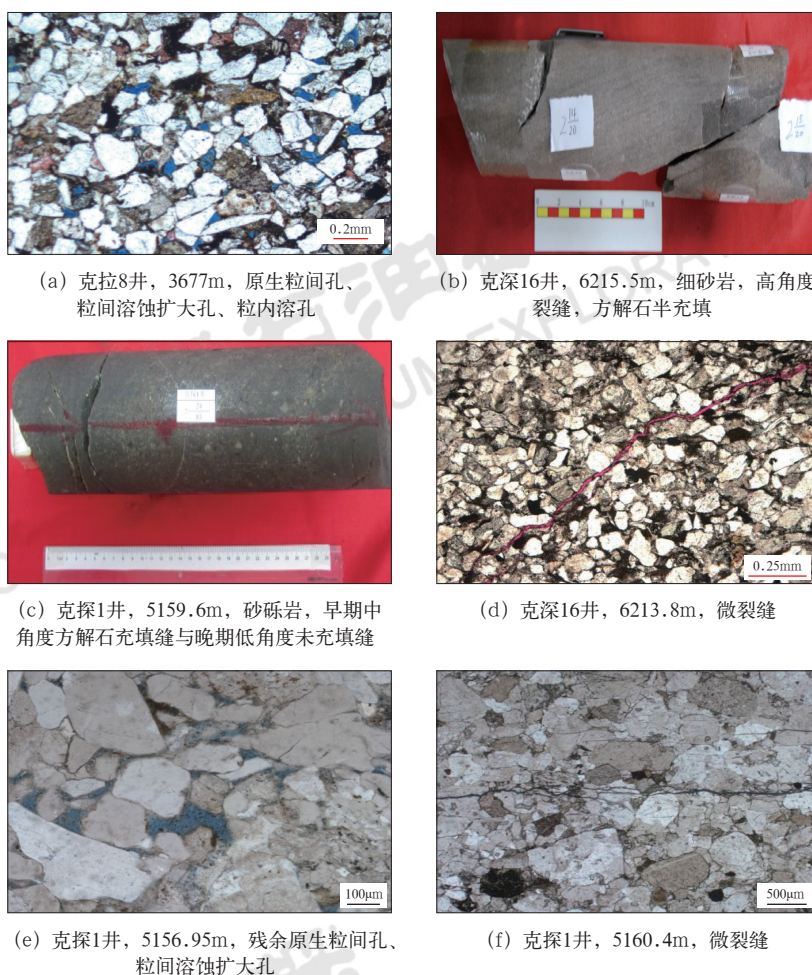


图7 库车坳陷白垩系亚格列木组储层岩心与铸体薄片照片

Fig.7 Core and thin section photos of the Cretaceous Yagelem Formation reservoir in Kuqa Depression

## 2.4 优质盖层区域分布、保存条件优越

白垩系舒善河组以湖相沉积为主,发育巨厚泥岩,是一套区域稳定盖层(图8)。露头区舒善河组以褐红色厚层、块状泥岩为主,夹薄层粉—细砂岩,单砂

层厚度一般为0.2~0.3m,最厚为2m,横向延伸一般小于5m。井下舒善河组沉积中心位于克拉苏构造带,厚度为600~1300m,岩性以泥岩为主,偶见粉砂岩,厚度小,横向连通性差,砂地比为6.5%~8.5%,是区域优质盖层。



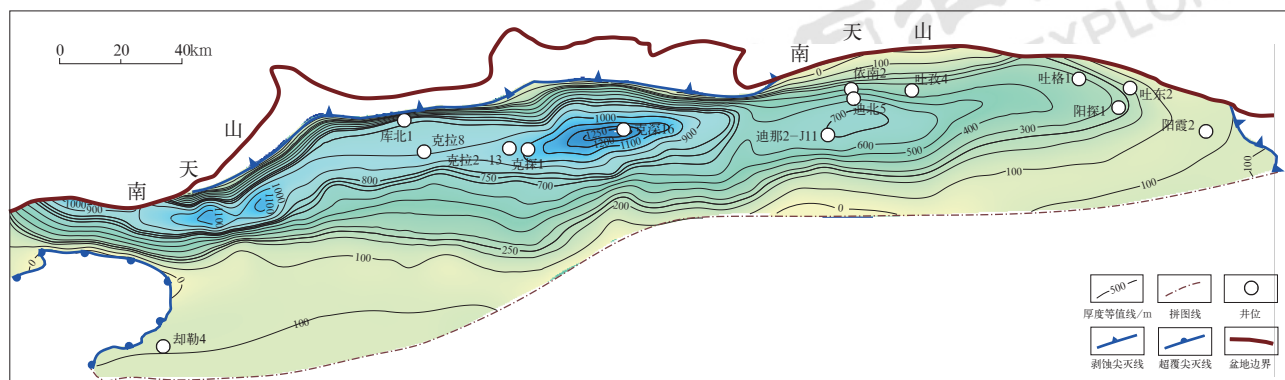


图8 库车坳陷白垩系舒善河组泥岩盖层厚度图

Fig.8 Thickness map of mudstone cap rock in the Cretaceous Shushanhe Formation in Kuqa Depression

### 3 克拉苏构造带立体成藏模式

经过多年勘探证实,克拉苏构造带油气成藏条件非常优越,深层发育三叠系—侏罗系优质烃源岩,多套储盖组合紧邻烃源岩,多期继承性活动的逆冲断裂垂向输导,油气强充注,多层系立体成藏<sup>[21-24]</sup>。综合“烃、储、盖、断”成藏要素的空间配置关系,克拉苏构造带中—上组合发育4套成藏组合,分别是侏罗系克孜勒努尔组一段与二段内幕、白垩系亚格列木组与舒善河组泥岩、白垩系巴什基奇克组与古近系膏盐层、新近系—古近系盐间薄砂层与膏盐岩,建立克拉苏构造带“下生上储、垂向输导”的多层系立体成藏模式(图9)。受喜马拉雅期构造活动影响,库车坳陷中—新生界进入快速沉降深埋阶段,三叠系—侏罗系烃源岩快速熟化生烃,生成的天然气在强大的内源驱动力推动下,一方面沿深大气源断裂向上强充注,分别在白垩系巴什基奇克组砂岩、亚格列木组砂岩(克探1井)等多层系立体成藏,该区只要发育有效的储盖组合就有可能成藏;另一方面油气在侏罗系克孜勒努尔组一段与二段内幕砂岩聚集成藏,形成源间油气藏,勘探潜力可能更大。由此可见,克拉苏构造带立体成藏模式呈现出自下而上的油气成藏序列,对比而言,近源储盖组合成藏更有利。

## 4 勘探启示与意义

### 4.1 盐下构造新模式

本文通过23条格架地震剖面,建立了库车坳陷盐下“双滑脱层复合、多期构造叠合”的构造模式(图10),受喜马拉雅晚期构造运动影响,克拉苏构造带形成了典型的前陆冲断构造,垂向上受侏罗系煤层及古近系盐层控制构造分层变形,形成3套构造

层。上构造层受盐层滑脱和差异聚集影响,发育盐滑脱逆冲断层褶皱,在克拉苏构造带形成一排地表背斜,往南过渡为拜城凹陷,在前缘隆起带冲出地表形成秋里塔格山。中构造层为白垩系、侏罗系克孜勒努尔组,由北向南发育7~8排逆冲叠瓦构造,白垩系巴什基奇克组、亚格列木组具有同轴构造变形特征,断背斜构造成排成带发育。局部盐层减薄或缺失的地区舒善河组泥岩也能发生滑脱构造变形,导致巴什基奇克组与亚格列木组发生分层滑脱变形,但分布范围有限。下构造层包括侏罗系阿合组和三叠系,主要发育3~4排冲断构造,整体比白垩系构造更平缓、形态更完整。垂向上多期构造变形继承性发育,3套构造层叠置,由于滑脱层作用断裂发生错位,导致了构造分层变形、油气分层聚集成藏。

### 4.2 “克拉之下找克拉”

从烃源岩及成藏条件分析,越靠近烃源岩的储盖组合越有利,4套区域储盖组合中,白垩系巴什基奇克组已经取得规模发现,侏罗系克孜勒努尔组源间领域成藏条件优越,但埋藏深度过大,现阶段无法勘探,古近系—新近系以薄砂岩岩性油气藏勘探为主,且分布范围有限。因此,勘探上聚焦近源领域、规模储盖组合锁定了白垩系亚格列木组,提出了“克拉之下找克拉”构想,在分层构造建模指导下,落实白垩系深层亚格列木组7~8排构造,发现了一批圈闭,区带天然气资源规模近万亿立方米,优选了单个圈闭落实、规模大、埋藏浅的克拉2深层亚格列木组圈闭,部署了克探1风险探井。

### 4.3 克探1井重大突破及意义

克探1井跳出盐下白垩系主力目的层,钻探更深层的白垩系亚格列木组砂岩、砾岩与舒善河组泥岩区





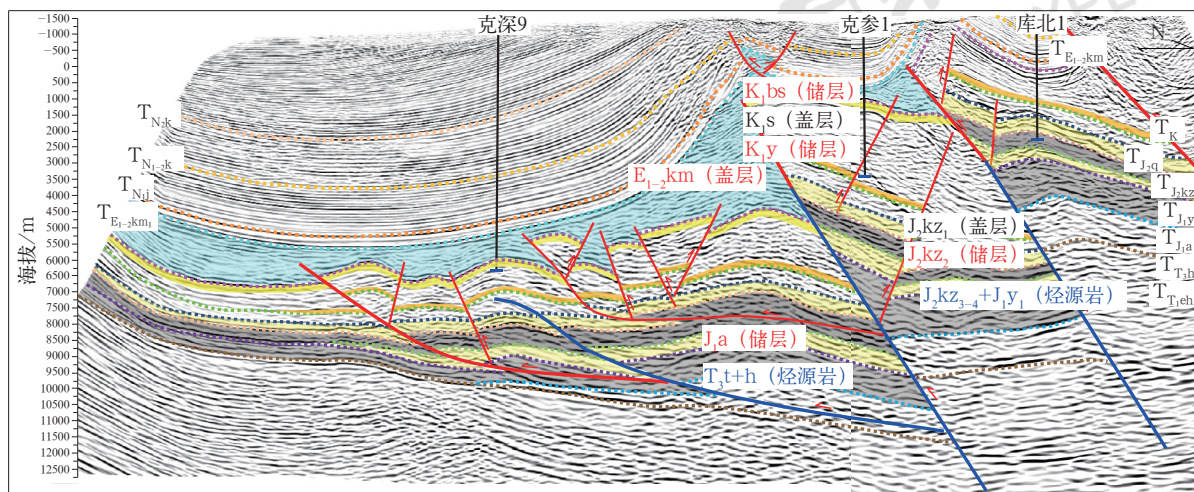


图10 克拉苏构造带分层构造变形模式与储盖组合地震解释剖面图

Fig.10 Seismic interpretation profile of stratified tectonic deformation pattern and reservoir-cap rock assemblage in Kelasu Structural Belt

域储盖组合,取得战略突破,证实该套生储盖组合配置优越,在克拉2之下新发现一个大气藏,找到一个全新的勘探层系。克探1井获得发现以后,重新落实亚格列木组勘探潜力,落实了埋深小于8000m的有利勘探面积近5000km<sup>2</sup>,发现圈闭显示17个,总面积达570km<sup>2</sup>,天然气资源量超9000×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>。亚格列木组断背斜圈闭发育、资源规模大、可部署性强,展示出巨大的勘探潜力,同时也实现了“克拉之下找克拉”的构想,以及落实深层侏罗系近源勘探领域,突破了库车坳陷天然气勘探的瓶颈,实现了天然气资源的战略接替。

## 5 结论

(1) 克探1井目的层为白垩系亚格列木组,虽露头岩性粗、物性差,但在克拉苏构造带相变为砂砾岩,上覆舒善河组优质泥岩可形成直接盖层,三叠系—侏罗系烃源岩供烃,并且断裂有效沟通油源,是该井获得高产的重要原因。

(2) 针对克拉苏构造带亚格列木组,建立的“下生上储、垂向输导、立体成藏”新模式得到了证实,越向深层越近源、成藏条件越有利、勘探潜力越大,丰富了构造型油气藏的成藏模式;为下一步进军更深层的侏罗系打下了基础,为库车坳陷天然气勘探打开了更广阔的空间。

(3) 克探1井的突破实现了克拉之下找克拉的构想,找到了一个全新的勘探层系,勘探潜力巨大,有望推动克拉苏大气田下一步天然气规模增储。

## 参考文献

- [1] 杨海军,李勇,唐雁刚,等.塔里木盆地克拉苏盐下深层大气田的发现[J].新疆石油地质,2019,40(1):12-20.  
Yang Haijun, Li Yong, Tang Yangang, et al. Discovery of Kelasu subsalt deep large gas field, Tarim Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2019,40(1):12-20.
- [2] 田军,杨海军,吴超,等.博孜9井的发现与塔里木盆地超深层天然气勘探潜力[J].天然气工业,2020,40(1):11-19.  
Tian Jun, Yang Haijun, Wu Chao, et al. Discovery of Well Bozi 9 and ultra-deep natural gas exploration potential in the Kelasu tectonic zone of the Tarim Basin[J]. Natural Gas Industry, 2020,40(1):11-19.
- [3] 徐振平,谢会文,李勇,等.库车坳陷克拉苏构造带盐下差异构造变形特征及控制因素[J].天然气地球科学,2012,23(6):1034-1038.  
Xu Zhenping, Xie Huiwen, Li Yong, et al. Characteristics and controlling factors of the subsalt differential structure in the Kelasu structural belt, Kuqa Depression[J]. Natural Gas Geoscience, 2012,23(6):1034-1038.
- [4] 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):7-13.  
Tian Zuoji, Song Jianguo. Tertiary structure characteristics and evolution of Kuqa foreland basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 1999,20(4):7-13.
- [5] 邹志鹏,胡剑风,王志民,等.库车坳陷古近系盐底夹层技术研究与应用[J].中国石油勘探,2022,26(1):142-150.  
Huan Zhipeng, Hu Jianfeng, Wang Zhimin, et al. Research and application of the base salt rock discrimination of the Paleogene in Kuqa Depression[J]. China Petroleum Exploration, 2022,26(1):142-150.
- [6] 唐雁刚,杨宪彰,谢会文,等.塔里木盆地库车坳陷侏罗系阿合组致密气藏特征与勘探潜力[J].中国石油勘探,2021,26(4):113-124.  
Tang Yangang, Yang Xianzhang, Xie Huiwen, et al. Tight gas reservoir characteristics and exploration potential of Jurassic Ahe Formation in Kuqa Depression, Tarim Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2021,26(4):113-124.

- [7] 张科, 潘文庆, 苏劲, 等. 塔里木盆地南华系—寒武系烃源岩时空分布与生烃潜力评价[J]. 中国石油勘探, 2022,27(4):121–134.  
Zhang Ke, Pan Wenqing, Su Jin, *et al.* Distribution and hydrocarbon generation potential of the Nanhua–Cambrian source rocks in Tarim Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2022,27(4):121–134.
- [8] 徐珂, 杨海军, 张辉, 等. 塔里木盆地克拉苏构造带超深层致密砂岩气藏一体化增产关键技术与实践[J]. 中国石油勘探, 2022,27(5):106–115.  
Xu Ke, Yang Haijun, Zhang Hui, *et al.* Key technology and practice of the integrated well stimulation of ultra-deep tight sandstone gas reservoir in Kelaasu structural belt, Tarim Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2022,27(5):106–115.
- [9] 汪新, 贾承造, 杨树锋, 等. 南天山库车冲断褶皱带构造变形时间: 以库车河地区为例[J]. 地质学报, 2002,76(1):55–63.  
Wang Xin, Jia Chengzao, Yang Shufeng, *et al.* The time of deformation on the Kuqa fold-and-thrust belt in the southern Tianshan: based on the Kuqa River area[J]. Acta Geologica Sinica, 2002,76(1):55–63.
- [10] 贾承造, 顾家裕, 张光亚. 库车拗陷大中型气田形成的地质条件[J]. 科学通报, 2002,47(增刊1):49–55.  
Jia Chengzao, Gu Jiayu, Zhang Guangya. Geological conditions for formation of large and medium gas fields in Kuqa Depression[J]. Chinese Science Bulletin, 2002,47(S1):49–55.
- [11] 漆家福, 雷刚林, 李明刚, 等. 库车拗陷克拉苏构造带的结构模型及其形成机制[J]. 大地构造与成矿学, 2009,33(1):49–56.  
Qi Jiafu, Lei Ganglin, Li Minggang, *et al.* Analysis of structure model and formation mechanism of Kelaasu structure zone Kuqa Depression[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2009,33(1):49–56.
- [12] 易士威, 李明鹏, 范士芝, 等. 塔里木盆地库车拗陷克拉苏和东秋断层面上盘勘探突破方向[J]. 石油与天然气地质, 2021,42(2):309–324.  
Yi Shiwei, Li Mingpeng, Fan Tuzhi, *et al.* Exploration directions on the Kelaasu and East-Qiulitag fault hanging walls, Kuqa Depression, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2021,42(2):309–324.
- [13] 李勇, 漆家福, 师俊, 等. 塔里木盆地库车拗陷中生代盆地性状及成因分析[J]. 大地构造与成矿学, 2017,41(5):829–842.  
Li Yong, Qi Jiafu, Shi Jun, *et al.* Characteristics of Mesozoic basin in Kuqa Depression, Tarim Basin[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2017,41(5):829–842.
- [14] 余海波, 漆家福, 杨宪彰, 等. 塔里木盆地库车拗陷中生代原型盆地分析[J]. 新疆石油地质, 2016,37(6):644–653,666.  
Yu Haibo, Qi Jiafu, Yang Xianzhang, *et al.* Analysis of Mesozoic prototype basin in Kuqa Depression, Tarim Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2016,37(6):644–653, 666.
- [15] 王招明, 李勇, 谢会文, 等. 库车前陆盆地超深层大油气田形成的地质认识[J]. 中国石油勘探, 2016,21(1):37–43.  
Wang Zhaoming, Li Yong, Xie Huiwen, *et al.* Geological understanding on the formation of large-scale ultra-deep oil-gas field in Kuqa foreland basin[J]. China Petroleum Exploration, 2016,21(1):37–43.
- [16] 张荣虎, 刘春, 杨海军, 等. 库车拗陷白垩系超深层储集层特征与勘探潜力[J]. 新疆石油地质, 2016,37(4):423–429.  
Zhang Ronghu, Liu Chun, Yang Haijun, *et al.* Characteristics and exploration potential of ultra deep Cretaceous reservoir in Kuqa Depression, Tarim Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2016,37(4):423–429.
- [17] 程明, 刘永福, 刘云宏, 等. 塔里木盆地羊塔11井区白垩系亚格列木组物源分析[J]. 中国石油勘探, 2021,26(2):77–84.  
Cheng Ming, Liu Yongfu, Liu Yunhong, *et al.* Provenance analysis of Cretaceous Yageliemu Formation in the Yangta 11 well block, Tarim Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2021,26(2):77–84.
- [18] 苏娟, 康仁东, 邢凤存, 等. 塔河—天山南地区早白垩世亚格列木期源汇系统分析[J]. 石油实验地质, 2014,36(2):182–187.  
Su Juan, Kang Rendong, Xing Fengcun, *et al.* Source-to-sink system during Yageliemu period of Early Cretaceous in Tahe and southern Tianshan areas[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014,36(2):182–187.
- [19] 梁狄刚, 陈建平, 张宝民, 等. 塔里木盆地库车拗陷陆相油气的生成[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004:94–96.  
Liang Digang, Chen Jianping, Zhang Baomin, *et al.* Formation of continental oil and gas in Kuqa Depression, Tarim Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004:94–96.
- [20] 王清华, 张荣虎, 杨宪彰, 等. 库车拗陷东部迪北地区侏罗系阿合组致密砂岩气勘探重大突破及地质意义[J]. 石油学报, 2022,42(8):1049–1064.  
Wang Qinghua, Zhang Ronghu, Yang Xianzhang, *et al.* Major breakthrough and geological significance of tight sandstone gas exploration in Jurassic Ahe Formation in Dibe area, eastern Kuqa Depression[J]. Acta Petrolei Sinica, 2022,42(8):1049–1064.
- [21] 杨学文, 田军, 王清华, 等. 塔里木盆地超深层油气地质认识与有利勘探领域[J]. 中国石油勘探, 2021,26(4):17–28.  
Yang Xuewen, Tian Jun, Wang Qinghua, *et al.* Geological understanding and favorable exploration fields of ultra-deep formations in Tarim Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2021,26(4):17–28.
- [22] 杜金虎, 王招明, 胡素云, 等. 库车前陆冲断带深层大气区形成条件与地质特征[J]. 石油勘探与开发, 2021,39(4):385–393.  
Du Jinhu, Wang Zhaoming, Hu Suyun, *et al.* Formation and geological characteristics of deep giant gas provinces in the Kuqa foreland thrust belt, Tarim Basin, NW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2021,39(4):385–393.
- [23] 王招明. 塔里木盆地库车拗陷克拉苏盐下深层大气田形成机制与富集规律[J]. 天然气地球科学, 2014,25(2):153–166.  
Wang Zhaoming. Formation mechanism and enrichment regularities of Kelaasu subsalt deep large gas field in Kuqa Depression, Tarim Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2014,25(2):153–166.
- [24] 戴金星. 天然气碳氢同位素特征和各类天然气鉴别[J]. 天然气地球科学, 1993,4(2/3):1–40.  
Dai Jinxing. Characteristics of hydrocarbon isotopes in natural gas and identification of various natural gases[J]. Natural Gas Geoscience, 1993,4(2/3):1–40.