

引用: 王清华, 杨海军, 蔡振忠, 等. 塔里木盆地库车南斜坡托探1井油气勘探重大突破及意义[J]. 中国石油勘探, 2023, 28(5): 28-42.

Wang Qinghua, Yang Haijun, Cai Zhenzhong, et al. Major breakthrough and significance of petroleum exploration in Well Tuotan 1 on the south slope of Kuqa Depression, Tarim Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2023, 28(5): 28-42.

# 塔里木盆地库车南斜坡托探1井油气勘探 重大突破及意义

王清华 杨海军 蔡振忠 杨宪彰 张亮 蒋俊 周露

(中国石油塔里木油田公司)

**摘要:** 塔里木盆地库车坳陷南部斜坡带温宿—西秋地区托探1井在寒武系潜山白云岩储层获得重大突破, 对库车南斜坡迎迳面多目的层潜山勘探具有重要意义。受制于地质条件复杂, 该地区的油气富集规律认识不清、地质结构落实及圈闭刻画难度大, 制约了潜山油气勘探。基于构造特征、潜山地层分布、生—储—盖组合、油气输导体系及勘探实践的系统分析, 探讨了潜山油气成藏新模式。温宿—西秋地区古生界构造为受前冲断裂沙井子—西秋断裂和反冲断裂乌什南断裂控制的背冲式构造, F1和F2两条次级反冲断裂使得背冲构造复杂化, 形成3排古生界潜山构造, 每排构造自近断层到远断层区古生界潜山地层由老变新。其中寒武系潜山地层分布范围最广、呈北东东向大面积展布, 潜山储层以局限台地颗粒滩相白云岩为主, 受多期构造活动、长时期暴露溶蚀叠加改造, 裂缝—孔洞型白云岩优质储层规模连片发育。潜山油气藏表现为三叠系黄山街组和侏罗系恰克马克组泥岩联合供烃、裂缝—孔洞型白云岩成储、上覆古近系膏盐岩封盖的生—储—盖组合样式; 成藏具有“库车油气远源供烃、不整合面输导、迎迳面构造富集”的特征, 主要成藏期在喜马拉雅晚期(4—1Ma)。托探1井的成功钻探, 证实了温宿—西秋地区多排多类型潜山巨大的勘探潜力, 重新刻画潜山圈闭面积近840km<sup>2</sup>、石油资源量约2.0×10<sup>8</sup>t、天然气资源量约590×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>, 有望成为油气增储上产新的战略接替区。

**关键词:** 塔里木盆地; 库车坳陷; 南部斜坡带; 寒武系; 潜山成藏模式; 重大突破

中图分类号: TE112.1

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1672-7703.2023.05.003

## Major breakthrough and significance of petroleum exploration in Well Tuotan 1 on the south slope of Kuqa Depression, Tarim Basin

Wang Qinghua, Yang Haijun, Cai Zhenzhong, Yang Xianzhang, Zhang Liang, Jiang Jun, Zhou Lu

(PetroChina Tarim Oilfield Company)

**Abstract:** A major breakthrough has been made in the Cambrian buried hill dolomite reservoir in Well Tuotan 1 in Wensu-Xiqiu area on the south slope of Kuqa Depression in Tarim Basin, which is of great significance to the exploration of multi-target buried hill on the hydrocarbon facing side on the south slope of Kuqa Depression. Due to the complex geological conditions, there is a lack of clear understanding on hydrocarbon enrichment law, and it is difficult to identify geological structures and characterize traps, which restrict the petroleum exploration in the buried hills in the study area. Based on the systematic analysis of structural features, stratigraphic distribution in buried hill, source rock-reservoir-cap rock assemblage, hydrocarbon transport system, and exploration practice, a new pattern of hydrocarbon accumulation in the buried hill has been established. The Paleozoic structure in Wensu-Xiqiu area is a back thrust structure controlled by the front thrust Shajingzi-Xiqiu Fault and recoil thrust Wushinan Fault, which is further complicated by two secondary back thrust faults F1 and F2, forming three rows of Paleozoic buried hill structures, with the stratigraphic age from old to new from the near fault to the far fault area in each row of structures. Among them, the Cambrian buried hill strata have the largest distribution

基金项目: 中国石油天然气集团有限公司攻关性应用性科技专项“超深层碎屑岩油气规模增储上产与勘探开发技术研究”(2023ZZ14)。

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: 2023-07-25; 修改日期: 2023-09-10

range in a NEE direction. The buried hill reservoirs are mainly composed of dolomite of restricted platform granular beach facies, and the high-quality fractured-vuggy type dolomite reservoirs are contiguously distributed after reconstructed by multi stage tectonic activities and long-term exposure and erosion. The hydrocarbon accumulation assemblage of the buried hill oil and gas reservoirs is composed of dual hydrocarbon supply by mudstone source rocks in the Triassic Huangshanjie Formation and the Jurassic Chakmak Formation, fractured-vuggy type dolomite reservoir, and cap rock of the overlying Paleogene gypsum salt rock; The hydrocarbon accumulation is characterized by "distant hydrocarbon supply from Kuqa Depression, hydrocarbon transport by unconformity surface, and hydrocarbon enrichment in structures on the hydrocarbon facing side", with the main hydrocarbon accumulation period in the late Himalayan (4-1Ma). The successful drilling of Well Tuotan 1 has confirmed the huge exploration potential of multi-row and multi-type buried hills in Wensu-Xiqiu area, with the re delineated buried hill trap area of 840km<sup>2</sup>, and the discovered oil resources of about 2.0×10<sup>8</sup>t and natural gas resources of about 590×10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>, which is expected to be a new strategic replacement area for increasing oil and gas reserves and production.

**Key words:** Tarim Basin, Kuqa Depression, southern slope zone, Cambrian, hydrocarbon accumulation pattern in buried hill reservoir, major breakthrough

## 0 引言

库车坳陷位于塔里木盆地北部<sup>[1]</sup>, 油气资源非常丰富, 是塔里木盆地油气勘探的重要地区<sup>[2-5]</sup>, 1998年克拉2获得高产气流后, 发现了克拉3、大北、吐孜洛克、迪那、克拉苏等油气田<sup>[3]</sup>。截至目前, 已形成西起博孜、东至吐孜洛克的长度超300km的大油气区, 天然气地质储量超过万亿立方米<sup>[6-9]</sup>, 有力支撑了西气东输工程, 保障了国家能源安全。

库车陆源油气不仅通过通源断裂垂向运聚成藏, 同时存在侧向输导、向南供给, 库车南斜坡区是最重要的油气富集区, 自西向东已发现新温地2、却勒1、玉东1、玉东2、英买46、英买32和牙哈等油气藏, 多具“小而肥”的特点<sup>[9-10]</sup>。温宿—西秋地区是库车南斜坡重要的古隆起区, 勘探早期以中—新生界构造、地层—岩性圈闭勘探为主, 多为低幅度构造, 仅岩性圈闭获得零星发现(古木1井新近系油气藏、却勒1井古近系油气藏), 勘探程度低。尝试探索古生界碳酸盐岩潜山勘探, 先后部署钻探佳木1井和佳木2井, 均钻遇二叠系火成岩, 且构造圈闭不发育而失利。总之, 温宿—西秋地区受地表条件的限制, 地震资料品质差, 断裂发育复杂, 地层结构认识不清、地层落实困难, 是制约本区油气勘探进展的关键因素。

2022年提出“库车油气远源供烃、不整合面输导、潜山岩溶成储、迎烃面成藏”的油气成藏新模式, 明确了加强构造建模研究, 重点探索白云岩潜山领域的勘探思路。在构造物理模拟实验指导下建立区域构造格架剖面, 开展二维、三维资料断裂和层位联合解释、构造演化分析、储盖组合分析和成藏条件分析等系统研究工作。

特别在构造研究方面, 明确温宿—西秋地区是由沙井子—西秋断裂和乌什南断裂控制的背冲式构造,

沙井子—西秋断裂为其前冲断裂, 乌什南断裂和拜城南断裂为其反冲断裂。背冲构造被多条次级断裂复杂化, 在温宿—西秋地区主要发育3条反冲次级断裂, 控制形成了3排古生界潜山带。其中南部第3排潜山带位于构造转换带, 构造相对整体平缓, 发育局部背斜构造, 优选佳木1号圈闭部署托探1井, 于2023年5月10日在寒武系潜山白云岩获重大突破。

## 1 地质概况

库车坳陷东西长约400km, 南北宽50~90km, 面积约为4×10<sup>4</sup>km<sup>2</sup>, 构造位置属于天山褶皱带南麓前陆盆地<sup>[11]</sup>, 主要经历了古生代被动大陆边缘、中生代台内坳陷和新生代天山逆掩—冲断3个重要的地质变革期<sup>[12-14]</sup>。尤其是始新世末期印藏碰撞的远程效应, 古天山造山带再生复活, 产生由南向北的挤压应力场, 导致坳陷内发育冲断—褶皱构造<sup>[15]</sup>, 断裂系统复杂。从南天山向库车南斜坡方向, 依次为北部构造带、克拉苏—迪那构造带、阳霞凹陷、拜城凹陷、乌什凹陷等二级构造单元(图1)。库车坳陷中生代台内坳陷期沉积的三叠系厚层泥岩和侏罗系煤层为烃源岩, 白垩系巴什基奇克组厚层砂岩为储层; 新生界始新统一中新统库姆格列木群、苏维依组和吉迪克组的厚层泥岩及膏盐岩为盖层; 上新世—更新世南天山南缘快速隆升, 形成多排冲断—褶皱变形构造, 使库车坳陷具备良好的源储配置、储盖配置, 造就了库车富油气区带。

库车南斜坡以库车坳陷陆相含油气系统为依据命名, 区别于塔北隆起海相含油气系统。库车南斜坡在海西—印支期的逆冲推覆作用下形成了“北高南低”的古构造格局; 喜马拉雅期南天山的隆起及库车冲断带的形成, 在重力均衡作用下, 库车坳陷持续沉降, 形成了现今“北低南高”的构造格局。

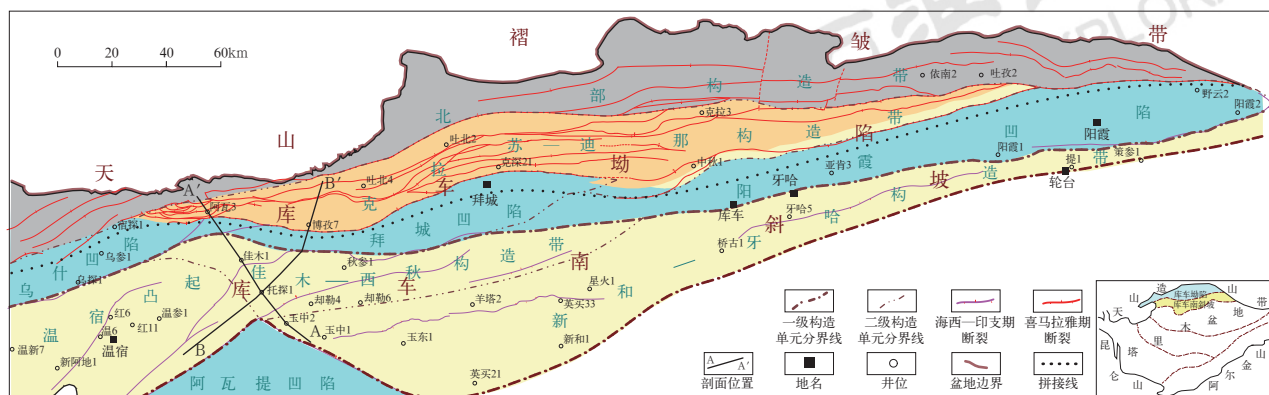


图1 库车含油气系统构造单元分布图

Fig.1 Division of structural units of Kuqa oil and gas system

库车南斜坡主要指库车前陆冲断构造下盘部分的南部延伸,其构造主要经历海西晚期、印支期、燕山期和喜马拉雅期4期活动。其中燕山期和喜马拉雅期活动较弱,海西—印支期是重要的断裂活动期,构造具叠加发育特征,形成了斜列状展布的逆冲—褶皱带,分别是温宿—西秋潜山断裂带、新和—牙哈潜山断裂带(图2)。

重点研究区佳木段位于温宿—西秋潜山断裂带中段,西侧温宿段古生代地层南倾;东侧西秋段受喜马拉雅期库车冲断带隆升所引起的重力均衡作用,北部沉降,古生代地层北倾;佳木段位于温宿段和西秋段的转换带,古生代地层相对平缓,形成多个背斜构造。

温宿—西秋地区受构造多期隆升影响,自下而上缺失泥盆系、石炭系(图3),现存地层也存在明显的剥蚀或超覆特征,其中古近系向温宿凸起超覆尖灭;白垩系、侏罗系和三叠系向温宿凸起存在超覆

和剥蚀双重作用下尖灭;前三叠系向古隆起依次剥蚀尖灭,形成二叠系、志留系、奥陶系和寒武系潜山。

由于海西—印支期断裂活动强度的差异和构造位置的不同,库车南斜坡白垩系沉积前从隆起核心部位向翼部依次发育变质岩潜山(新温地1、温6等井区)、震旦系—寒武系—奥陶系白云岩潜山(红26-3、英买32和牙哈7等井区)、奥陶系石灰岩潜山(英买322井区)、志留系碎屑岩潜山(英买34井区)和二叠系火成岩潜山(英买469、英买46-1和沙42井区)6个层系、5种类型的潜山油气藏<sup>[16-19]</sup>。勘探证实,白云岩潜山发育优质规模储层,具有良好的求产效果。

已发现油藏均具库车坳陷烃源岩供烃、不整合面输导和潜山风化壳成储的共同点。成圈和盖层方面存在差异:成圈方面,温宿凸起以地层型圈闭(红26-3井区)和岩性型圈闭为主,温宿凸起向东以局部构造成圈为特点;盖层方面,温宿凸起为新近系吉迪克组泥岩,东部为白垩系舒善河组泥岩。

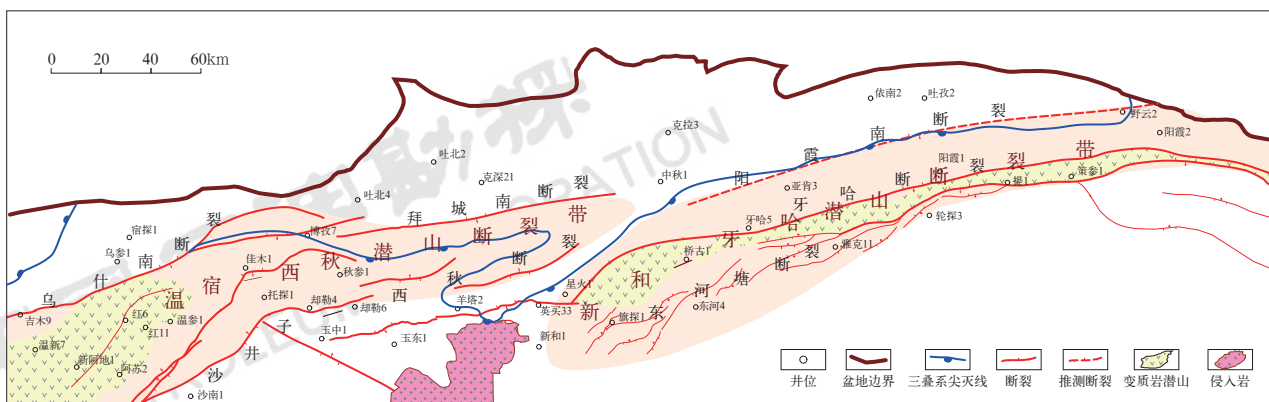


图2 库车南斜坡古生界断裂纲要图

Fig.2 Outline of the Paleozoic faults on the south slope of Kuqa Depression



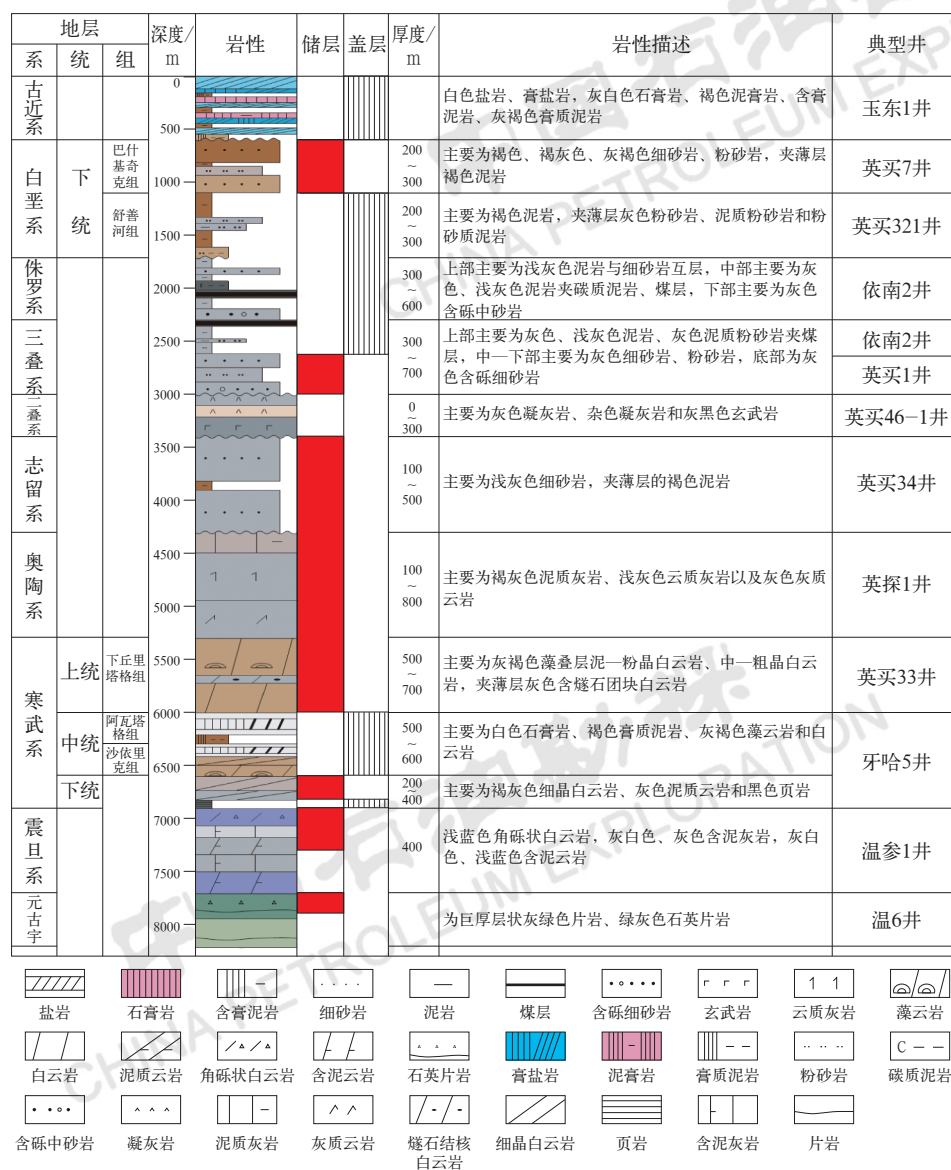


图 3 库车南斜坡及邻区综合柱状图

Fig.3 Comprehensive stratigraphic column on the south slope and adjacent areas in Kuqa Depression

## 2 托探 1 井寒武系下丘里塔格组白云岩潜山储层勘探重大突破

上寒武统下丘里塔格组白云岩在塔里木盆地广泛发育，多表现为开阔台地砂屑滩相沉积，在风化壳岩溶作用下可形成优质储层，已发现的英买 32 和牙哈 5 等潜山白云岩油藏均获高产油气流，具有良好的勘探价值。

2021 年以来，通过从构造建模和地震资料解释两方面入手，建立背冲构造控隆、反冲断层控制潜山的构造模型。如图 4 所示，佳木区块主要为受西秋断裂和乌什南断裂控制形成的背冲构造，F1 和 F2 两条次级反冲断裂使得背冲构造复杂化。受乌什南断裂、

F1 断裂和 F2 断裂 3 条断裂控制，形成了 3 排潜山，靠近反冲断裂潜山地层较老，远离反冲断裂地层较新。其中佳木 1 井和佳木 2 井钻遇 F2 断裂所控制的断块，属于 F1 断裂的下盘，钻遇二叠系火成岩且圈闭不落实而造成勘探失利。

层位解释方面，本区受地震资料限制，古生代—中生代同相轴连续性较差，可识别性差。而寒武系底面为强振幅地震反射，依据断裂模型，落实了寒武系底面反射特征。同时根据区域地层厚度变化趋势，对古生代—中生代进行了推测（图 4）。

F1 断裂上盘地层相对平缓，潜山白云岩分布面积大，通过解释落实了古生界碳酸盐岩潜山圈闭群，优选佳木 1 号圈闭部署托探 1 井（图 5）。佳木 1 号



圈闭寒武系呈南倾特征, 顶部存在剥蚀, 碳酸盐岩顶面与古近系膏盐岩盖层底面形成背斜圈闭, 圈闭面积为  $45\text{km}^2$ , 幅度为  $280\text{m}$ , 高点海拔为  $-4380\text{m}$ , 托探 1 井位于圈闭西部高点。

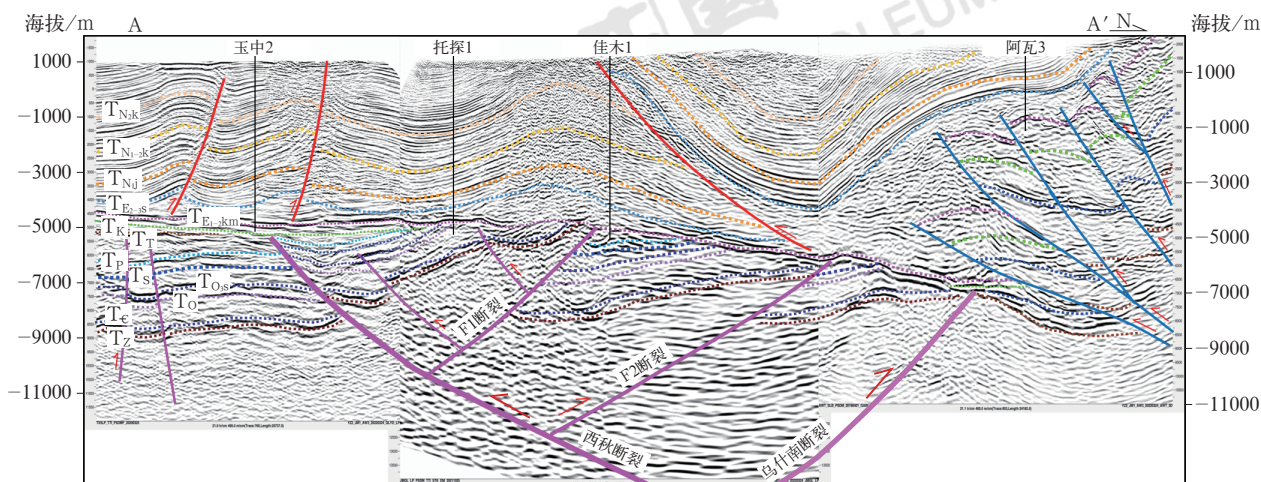


图 4 温宿—西秋地区过托探 1 井地震解释剖面图 (剖面位置见图 1)

Fig.4 Seismic interpretation profile cross Well Tuotan 1 in Wensu-Xiqiu area (section location is in Fig.1)

$O_3s$ —桑塔木组;  $E_{1-2km}$ —库姆格列木群;  $E_{2-3s}$ —苏维依组;  $N_j$ —吉迪克组;  $N_{1-2k}$ —康村组;  $N_{2k}$ —库车组

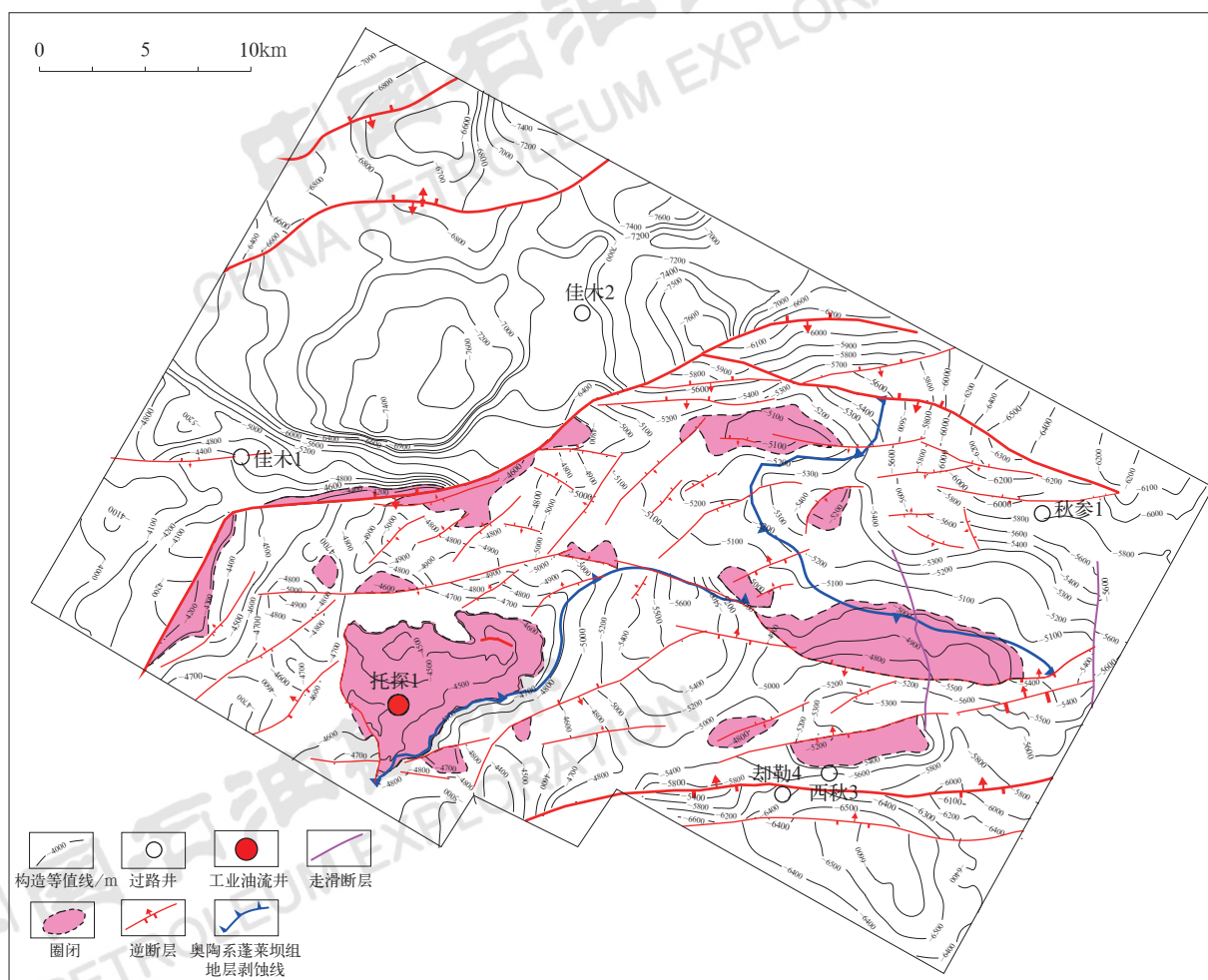


图 5 佳木区块古生界碳酸盐岩潜山顶面构造图

Fig.5 Top structural map of the Paleozoic carbonate buried hill in Jiamu block

托探 1 井完钻井深为 5815m，完钻层位为寒武系下丘里塔格组。目的层下丘里塔格组顶面实钻深度为 5677.5m，厚度为 137.5m。托探 1 井寒武系下丘里塔格组白云岩气测录井显示有 7 层，最好显示井段为 5678~5680m，气测全烃值为 0.1%~0.5%，其中，甲烷含量为 0.01%~0.26%，天然气组分全，钻井液密度为 1.66g/m<sup>3</sup>。托探 1 井寒武系下丘里塔格组测井资料解释油层 28.5m/10 层，差油层 21m/6 层。测试

阶段选用 7mm 油嘴放喷求产，油压为 15.42MPa，日产油 167m<sup>3</sup>，日产气 38668m<sup>3</sup>，累计产油 459m<sup>3</sup>，累计产气 112606m<sup>3</sup>（图 6）。实现了库车南斜坡寒武系潜山白云岩油藏的勘探突破和高产稳产。

托探 1 井寒武系下丘里塔格组油藏类型为常压裂缝—孔洞型潜山白云岩油藏，地层压力系数为 1.07，气油比为 231m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>，原油密度为 0.816g/cm<sup>3</sup>，天然气相对密度为 0.95。

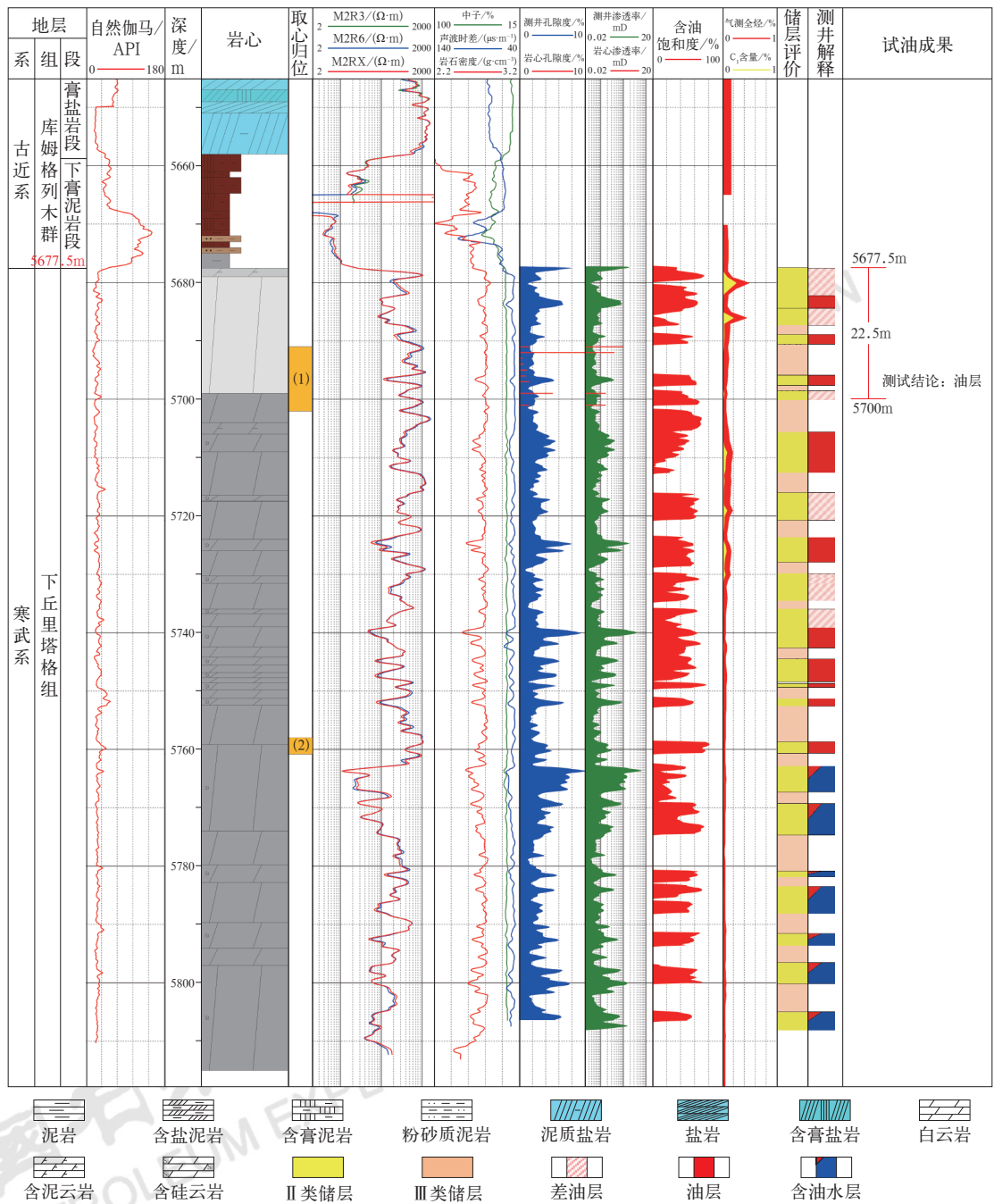


图 6 温宿—西秋地区托探 1 井寒武系下丘里塔格组测井解释图  
Fig.6 Logging interpretation results of the Cambrian Lower Qiulitag Formation in Well Tuotan 1 in Wensu-Xiqiu area



### 3 潜山油气成藏关键条件特征

#### 3.1 邻近库车坳陷博孜一大北生烃中心, 油气源供应充足

托探1井紧邻库车坳陷三叠系—侏罗系多套烃源岩生烃中心, 为多套烃源岩供给油气的有利指向区。库车坳陷三叠系和侏罗系烃源岩呈东西向展布<sup>[20]</sup>, 受印支期断裂影响, 三叠系烃源岩成排分布, 西段博孜一大北地区发育多个烃源岩厚值区, 厚度为100~300m(图7a), 侏罗系烃源岩厚度较大, 可达200~700m(图7b)。根据北部露头区烃源岩岩石热解分析, 三叠系黄山街组烃源岩有机碳含量

为0.7%~1.78%, 平均为1.06%, 生烃潜量 $S_1+S_2$ 平均仅0.08mg/g, 低含量的生烃潜量与较高的成熟演化有直接关系, 三叠系烃源岩整体为中等—好级别。侏罗系阳霞组和克孜勒努尔组煤系烃源岩有机碳含量平均大于2%, 生烃潜量为2.5~3.5mg/g, 氯仿沥青“A”含量为0.4‰~0.6‰, 烃源岩属中等级别。侏罗系恰克马克组湖相烃源岩有机碳含量为0.87%~3.44%, 平均为2.1%, 生烃潜量平均为1.48mg/g, 属于中等—好级别烃源岩。露头区三叠系烃源岩实测镜质组反射率大于2.0%, 处于生气高峰期阶段。与三叠系相比, 侏罗系烃源岩成熟演化较低, 恰克马克组烃源岩实测镜质组反射率为0.8%~1.2%, 正处于生油高峰期阶段。

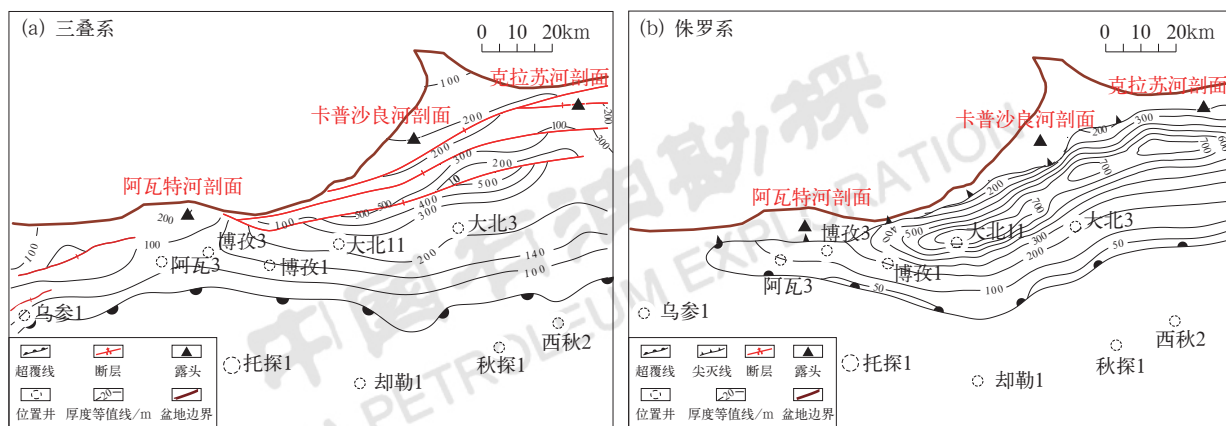


图7 库车坳陷博孜一大北地区三叠系、侏罗系烃源岩厚度图

Fig.7 Thickness maps of the Triassic and Jurassic source rocks in Bozi-Dabei area in Kuqa Depression

#### 3.2 寒武系潜山呈北东东向大面积展布, 勘探潜力大

温宿—西秋断背斜整体表现为乌什南断裂断距大、南部沙井子—西秋断裂断距小的特点, 地层北部抬升高, 在剥蚀作用下形成的潜山总体表现为自北向南地层由老变新<sup>[21-23]</sup>。此外温宿—西秋断背斜之上发育多条次级断裂, 其中佳木段发育3条反冲断裂(包括乌什南断裂), 形成了叠瓦构造。各断片地层靠近断层区域抬升较高, 剥蚀程度大, 自近断层到远断层区潜山地层由老变新, 依次发育寒武系—震旦系、奥陶系、志留系和二叠系(图8)。

温宿—西秋潜山断裂带埋藏深度自西向东依次增加, 构造主体部分埋深在3000~7000m, 埋深适中。该区构造相对宽缓, 其南北宽度超40km, 东西长约170km, 总面积约为7000km<sup>2</sup>, 寒武系(白云岩)潜山面积约为1500km<sup>2</sup>, 有利储层大面积分布, 勘探潜力大。

#### 3.3 寒武系下丘里塔格组白云岩潜山储层稳定分布、规模连片

托探1井钻揭上寒武统下丘里塔格组137.5m, 通过85个岩石薄片分析, 其岩性以灰色白云岩为主, 局部发育含硅云岩(硅质含量为5%~25%)。测井GR值自上而下普遍在20API左右, 反映出上下岩性比较均一, 泥质含量低。钻井及地震资料综合揭示晚寒武世塔里木盆地镶嵌型碳酸盐台地, 台地边缘位于轮南—古城地区, 主要发育藻丘和颗粒滩复合体(图9)。台地内部水体较浅, 颗粒滩广泛发育, 但由于受台地边缘控制, 台内水体相对局限, 蒸发作用较强, 为台内颗粒滩广泛白云石化奠定了基础<sup>[24-26]</sup>; 钻井和露头均揭示下丘里塔格组发育巨厚白云岩, 如轮深2井钻揭下丘里塔格组约348m厚白云岩, 英买33井钻揭下丘里塔格组约147m厚白云岩(未见底)和肖尔布拉克剖面下丘里塔格组实测约316m厚白云岩。



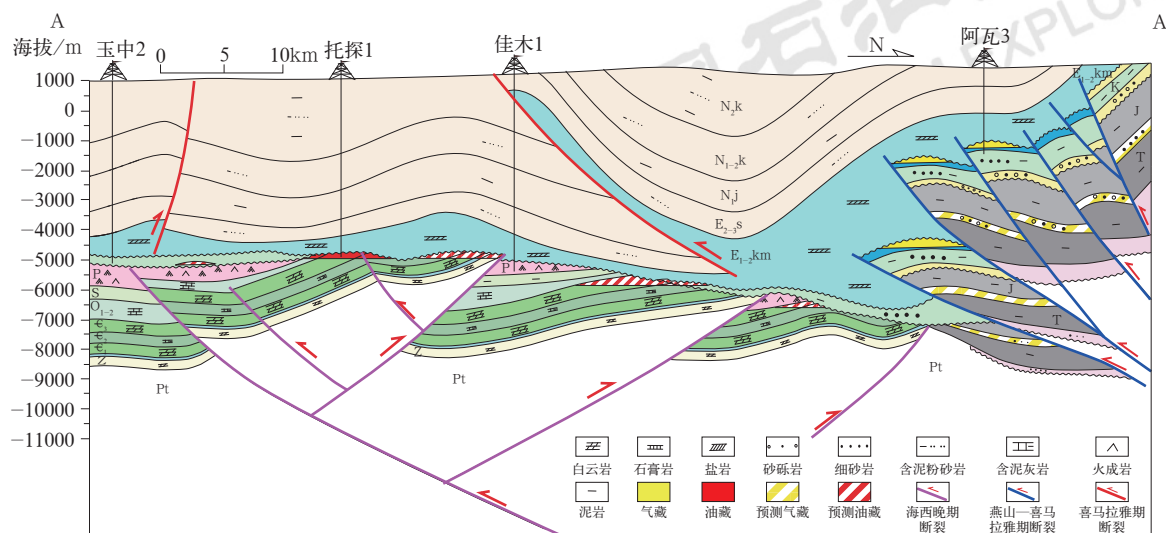


图8 库车坳陷过阿瓦—佳木—玉中地区南北向地质结构剖面图(剖面位置见图1)

Fig.8 N-S direction geological structural section cross Awa-Jiamu-Yuzhong areas in Kuqa Depression (section location is in Fig.1)

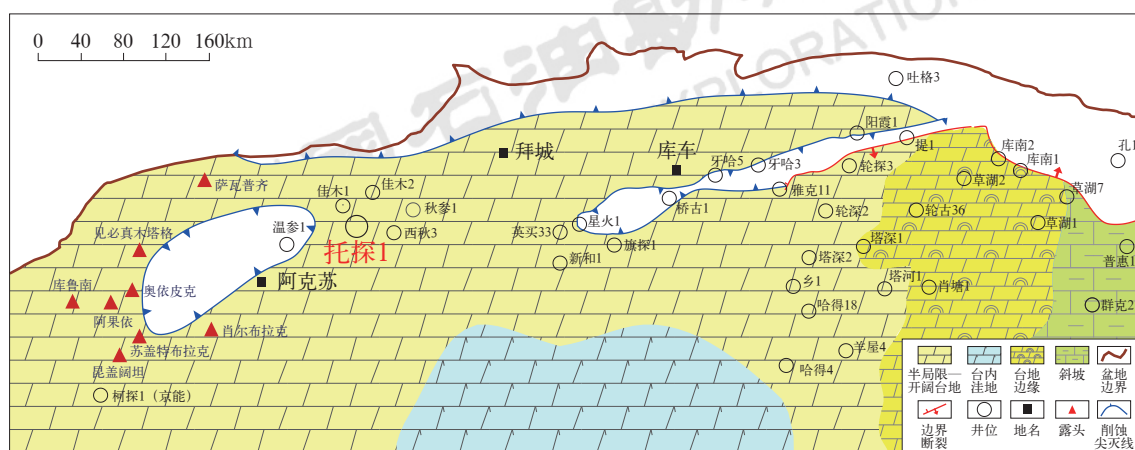


图9 库车南斜坡上寒武统下丘里塔格组沉积相图

Fig.9 Sedimentary facies map of the Upper Cambrian Lower Qiulitag Formation on the south slope of Kuqa Depression

托探1井寒武系下丘里塔格组白云岩储集空间类型主要为构造裂缝和溶蚀孔洞。从岩心上看(图10a、b),高角度裂缝十分发育,局部破碎严重呈角砾状,溶蚀孔洞多沿裂缝非均质分布,孔径为0.5~10mm,大小不均,缝洞边缘呈褐色,为明显的油气侵染特征;根据成像测井分析(图10c、d),暗色高角度裂缝非常发育,共解释裂缝115条,裂缝密度接近1条/m,暗色溶蚀孔洞多沿裂缝分布,与岩心特征具有一致性;根据岩心薄片显微特征(图10e、f),晶间溶孔和网状裂缝发育,局部缝洞中残留沥青,整体面孔率为0.3%~1.5%,微裂缝率为0.1%~1.0%;测井解释

储层厚度累计为73.5m,储层厚度占比达52.3%,孔隙度为3.3%~5.8%。

### 3.4 古近系巨厚泥膏岩—膏盐岩形成优质区域盖层,保存条件优越

古近系库姆格列木群( $E_{1-2}km$ )自下而上依次为下膏泥岩段、膏盐岩段和上膏泥岩段,整体可以作为盖层。特别是膏盐岩段,厚度大,岩性以巨厚层状白色盐岩和膏盐岩不等厚互层为主,夹薄层石膏岩、泥岩和含膏泥岩<sup>[27-28]</sup>。区域上分布范围广,封盖条件好,为优质区域盖层,是库车坳陷油气富集的关键。

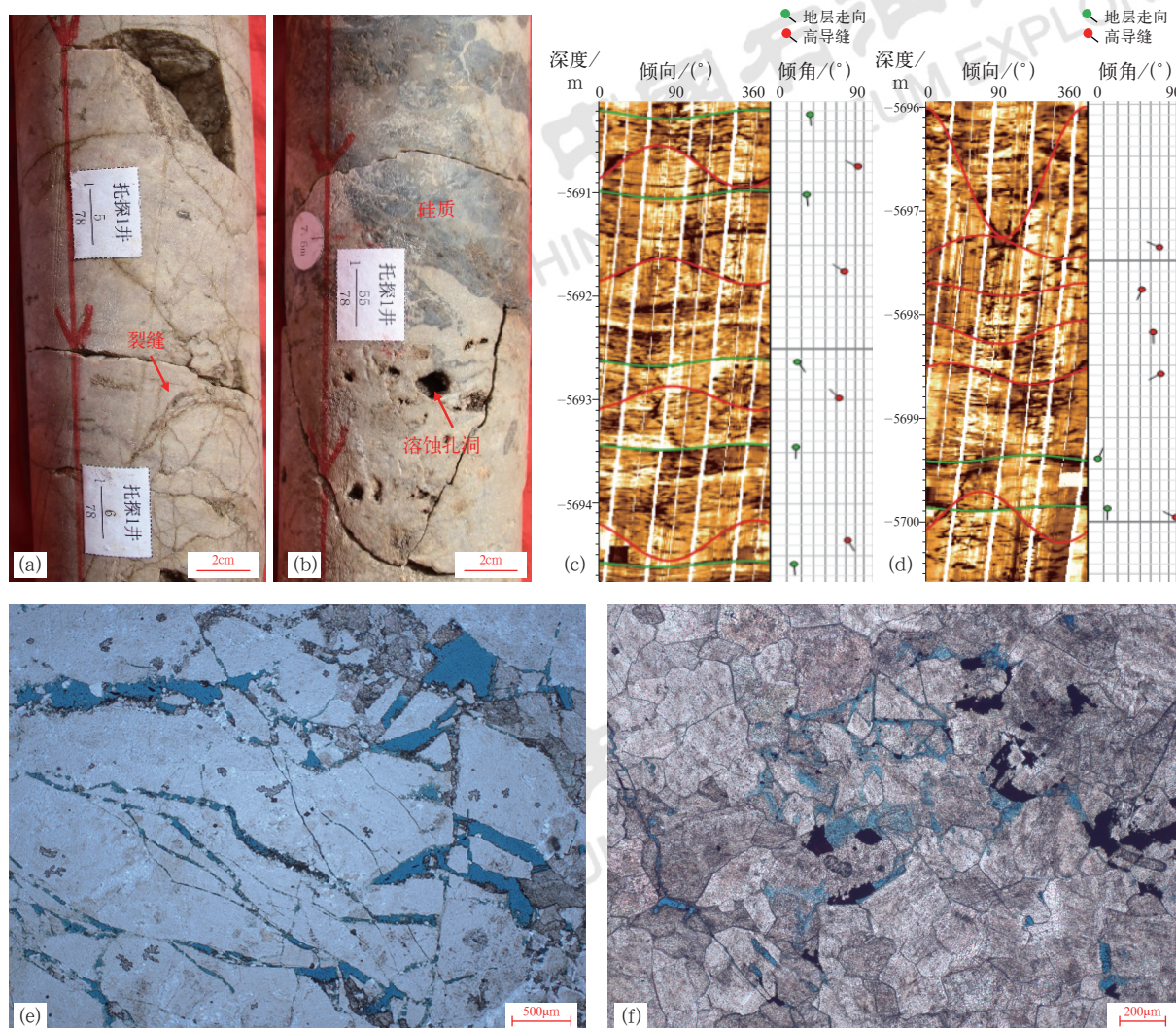


图 10 温宿—西秋地区托探 1 井上寒武统下丘里塔格组储层特征图

Fig.10 Reservoir characteristics of the Upper Cambrian Lower Qiulitag Formation in Well Tuotan 1 in Wensu—Xiqiu area

(a) 5688.7m, 灰色白云岩, 不规则网状裂缝发育; (b) 5695.4m, 灰色白云岩, 溶蚀孔洞沿裂缝非均质分布, 孔径为 0.5~10mm; (c) 5690~5695m, 电成像测井解释成果图, 中高角度裂缝及溶蚀孔洞均发育; (d) 5696~5701m, 电成像测井解释成果图, 网状裂缝及溶蚀孔洞均发育; (e) 5695.84m, 残余砂屑云岩, 微裂缝发育, 面孔率为 1.5%, 蓝色铸体; (f) 5695.07m, 细—中晶白云岩, 晶间溶孔发育, 面孔率为 0.6%, 蓝色铸体

库车南斜坡古近系库姆格列木群 ( $E_{1-2}km$ ) 普遍发育, 沉积期厚度大。喜马拉雅期库车坳陷褶皱变形, 在库车南斜坡形成前缘冲断—褶皱带, 其应力受构造变形得以释放, 膏盐岩聚集、泥膏岩变形使得地层加厚, 膏盐岩厚度为 200~3000m (图 11)。

佳木区块寒武系潜山上覆盖层为古近系库姆格列木群膏盐岩和泥膏岩, 托探 1 井钻遇上膏泥岩段 392m、膏盐岩段 172m、下膏泥岩段 19.5m, 其所在圈闭盖层厚度北厚南薄, 厚度分布在 500~2000m 之间, 具有良好的保存条件。整体而言, 温宿—西秋区带古

近系库姆格列木群具有良好的盖层条件, 其分布区域广, 保存条件优越。

## 4 潜山油气成藏模式

### 4.1 油气来源

托探 1 井周缘已发现油气藏的油源对比结果表明, 油气主要来源于北部库车凹陷三叠系、侏罗系烃源岩<sup>[29-30]</sup>。托探 1 井寒武系潜山原油生物标志化合物具有高丰度的  $C_{19}$  三环萜烷、 $C_{24}$  四环萜烷、 $C_{30}$  未知藿烷、 $C_{30}$  重排藿烷、重排甾烷, 全油碳同位素值



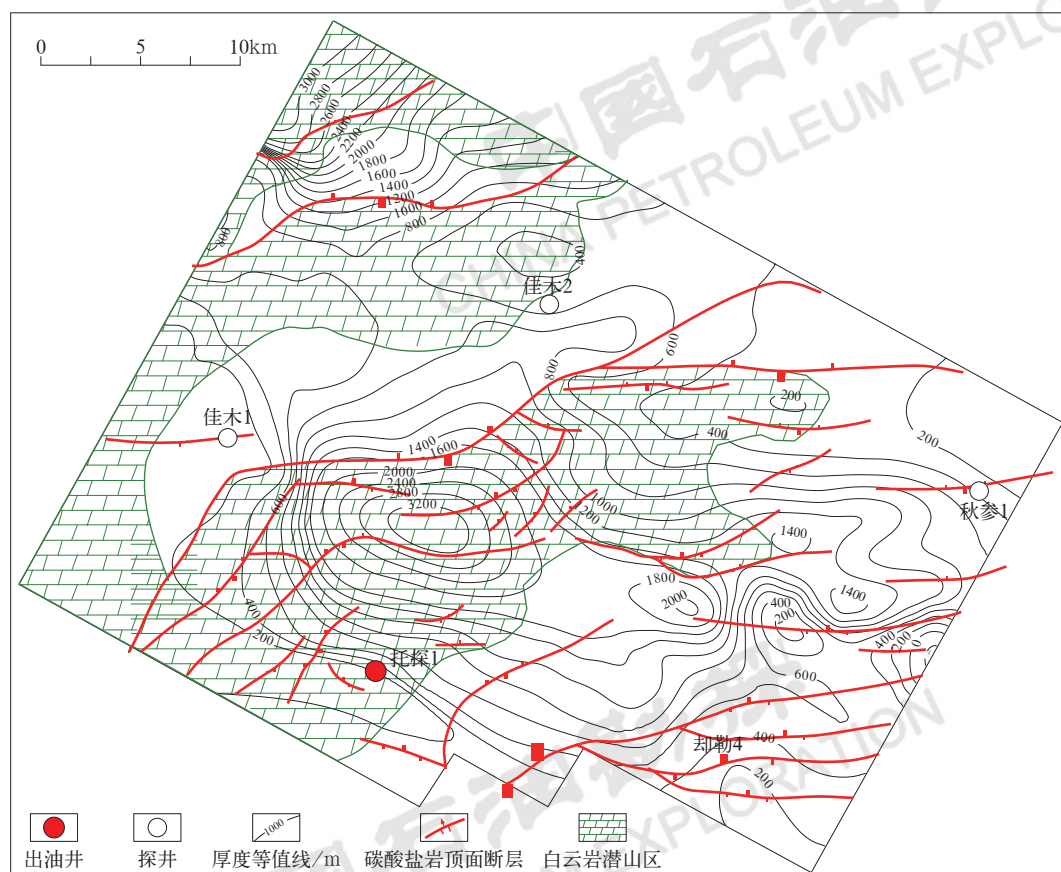


图 11 温宿—西秋地区佳木区块古近系膏盐岩盖层厚度图

Fig.11 Thickness map of the Paleogene gypsum salt cap rock in Jiamu block in Wensu-Xiqiu area

为 $-28.3\%$ ，生物标志化合物与同位素特征与南部的却勒1井、羊塔克原油生物标志化合物特征相似，具有同源性，已有的研究认为却勒—羊塔地区原油主要来源于侏罗系恰克马克组烃源岩<sup>[31-32]</sup>。除此之外，三环萘烷中 $C_{23}$ 三环萘烷含量较高，这一特征在英买力地区原油多见，以三叠系湖相烃源岩贡献为主<sup>[33]</sup>，指示出托探1井原油也有三叠系湖相烃源岩贡献（图12）。

#### 4.2 主要成藏期

据前人相关研究，库车坳陷三叠系湖相烃源岩自吉迪克组沉积期（23Ma）开始成熟生烃，在新近系康村组沉积期（12—5Ma）左右达到生烃高峰；侏罗系湖相烃源岩于新近纪尤其是进入库车组沉积期（5Ma）在喜马拉雅期剧烈构造活动导致的前陆盆地快速沉降、深埋时期进入大量生烃阶段，至今仍具备较大供烃潜力<sup>[34-35]</sup>。托探1井寒武系白云岩裂缝中见蓝色、黄绿色荧光油包裹体，伴生流体包裹体均一温度以 $120 \sim 130^{\circ}\text{C}$ 为主峰正态分布，反映出寒武系

潜山油气成藏为一期原油连续充注，充注时间为4—1Ma，成藏时期为喜马拉雅晚期，与佳木区块周缘却勒1等井成藏时期相近（图13）。

#### 4.3 油气优势运移通道

利用储层颗粒定量荧光（QGF）指数及储层萃取液定量荧光（QGF-E）强度可快速、简便地对现今油层、残留油层和古油层进行识别，或追踪古今油气运移路径，QGF指数主要用于判断古油层的存在或是否曾有油气经过，QGF-E强度用于指示现今油层<sup>[36]</sup>。

托探1井寒武系下丘里塔格组油藏类型为常压裂缝—孔洞型潜山白云岩油藏，地层压力系数为1.07，浮力为油气主要驱动力，油气自凹陷排出后趋于沿斜坡带向凸起运聚成藏。利用单井QGF指数和QGF-E强度结合关键成藏期平衡演化剖面分析可得，康村组沉积末期油气自凹陷烃源岩排出后经佳木1井沿前中生界顶部不整合面一路侧向运移至温宿凸起，在温参1井寒武系—奥陶系潜山顶发生油气聚集；随



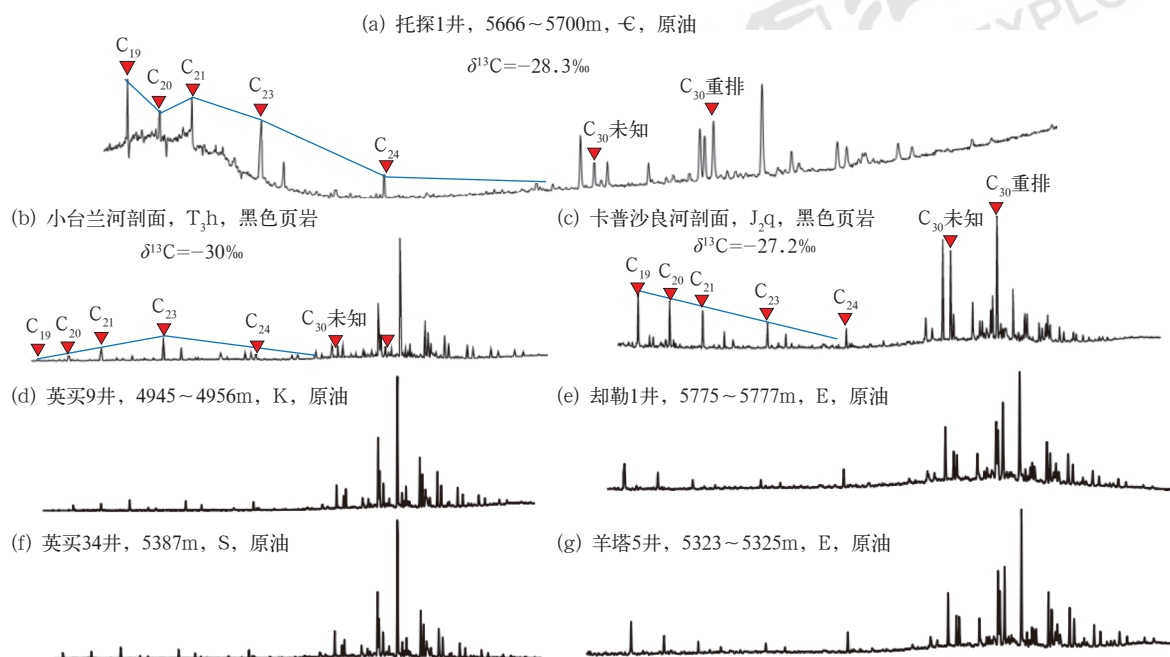


图 12 托探 1 井及周缘原油与烃源岩地球化学特征图

Fig.12 Geochemical characteristics of crude oil and source rocks in Well Tuotan 1 and its periphery

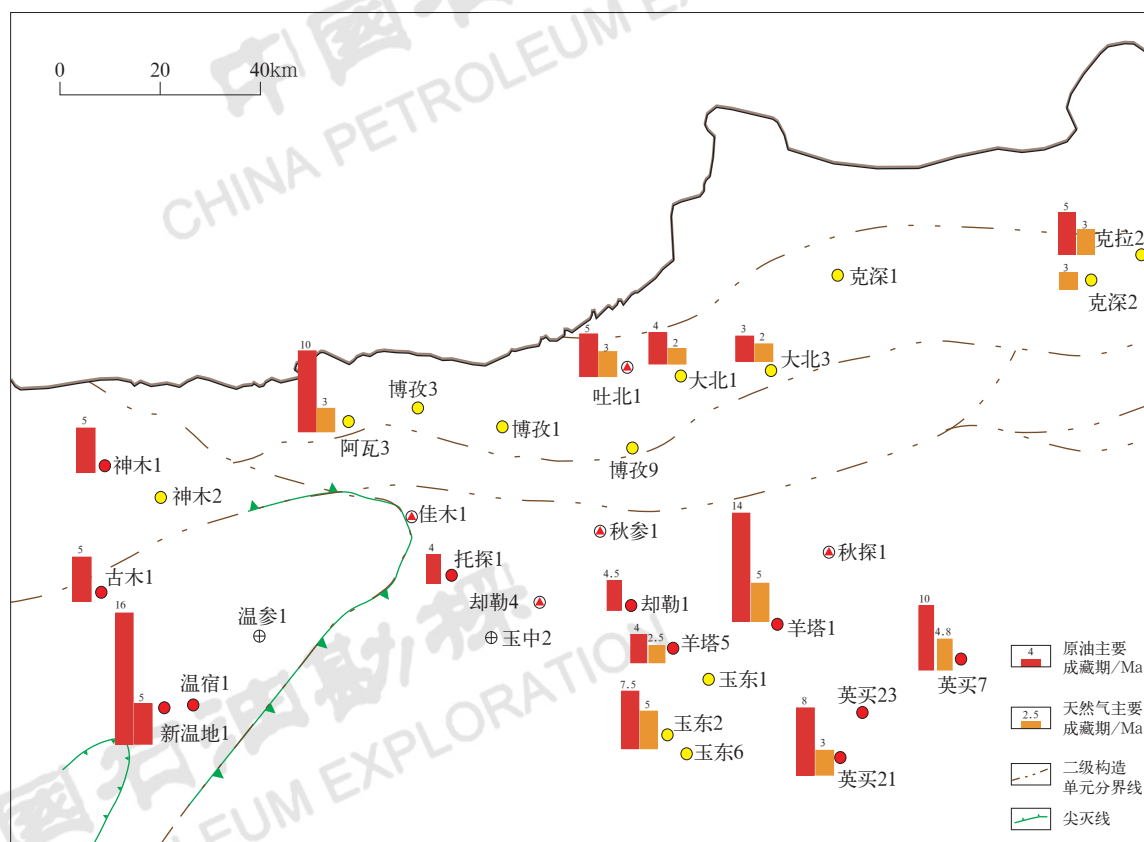
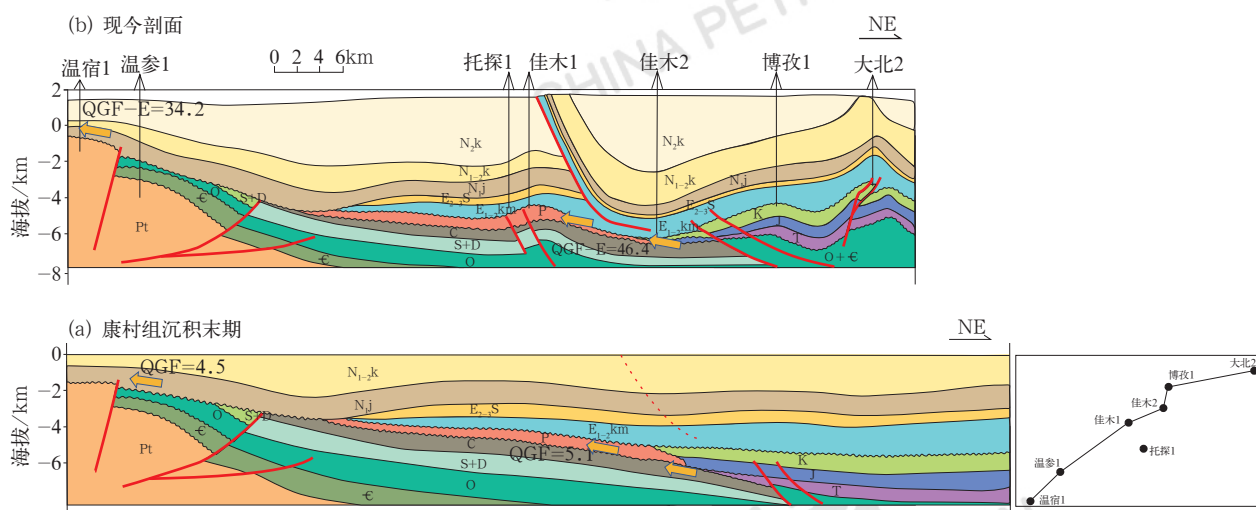


图 13 库车南斜坡部分井油气成藏期示意图

Fig.13 Schematic diagram of hydrocarbon accumulation periods in some wells on the south slope of Kuqa Depression

着喜马拉雅期剧烈构造活动油气藏发生调整, 现今温参1井为水层, 但 QGF-E 强度指示仍有油气经过, 可能由于埋深浅保存条件不佳或盖层封堵性不佳使油气散失而未能最终成藏 (图 14)。即油气向温宿

凸起的运移具有继承性, 无论是康村组沉积时期还是喜马拉雅运动改造地层结构之后, 前中生界顶部不整合面均为油气运移的优势通道, 不整合面之下古潜山具有良好的成藏背景。



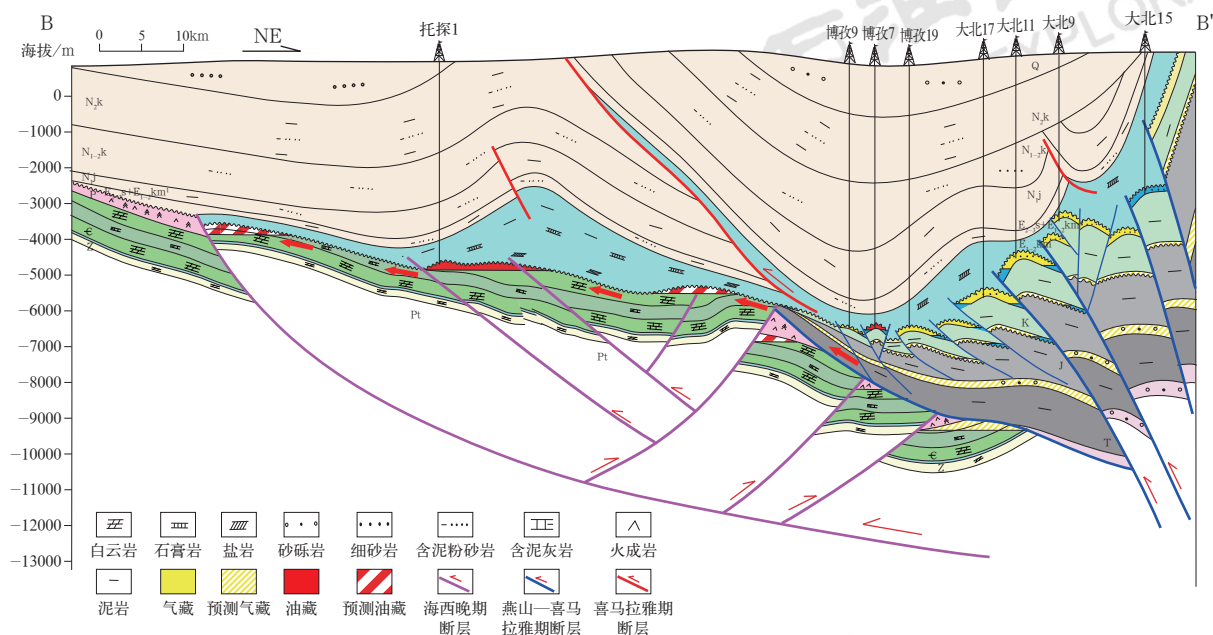


图 15 温宿—西秋地区潜山油气成藏模式图 (剖面位置见图 1)

Fig.15 Hydrocarbon accumulation pattern of buried hill oil and gas reservoirs in Wensu-Xiqiu area (section location is in Fig.1)

## 5 勘探突破重大意义

托探 1 井的勘探突破,在库车南斜坡温宿—西秋地区发现了一个新的富油气区带。证实该区发育大面积的寒武系潜山白云岩有利储层,重新刻画其分布面积为  $1500\text{km}^2$ 。托探 1 井油气源对比表明油气来自库车陆相烃源岩,证实了该区“库车油气远源供烃、不整合面输导”的油气供给条件,奠定了可形成富油气区的成藏基础。托探 1 井的成功钻探初步验证了“反冲断裂控制三排潜山带”的地质认识,重新刻画寒武系白云岩潜山圈闭总面积近  $840\text{km}^2$ ,构造主体部分埋深在  $3000\sim 7000\text{m}$ ,评价石油资源量约  $2.0\times 10^8\text{t}$ 、天然气资源量约  $590\times 10^8\text{m}^3$ ,将直接推动白云岩潜山大油气区建设。

库车南斜坡除寒武系白云岩潜山外,还存在多套潜山地层(震旦系白云岩潜山、奥陶系碳酸盐岩潜山、志留系潜山及二叠系潜山)和多类型储盖组合。托探 1 井采取常规酸压改造工艺即实现了超深层油气高产,将引领库车南斜坡多目的层潜山油气藏的高效勘探开发进程。基于潜山油气成藏研究认识,本文重新优选库车南斜坡潜山带有利勘探面积  $4700\text{km}^2$ ,评价石油资源量约  $5.7\times 10^8\text{t}$ 、天然气资源量约  $1560\times 10^8\text{m}^3$ ,为库车坳陷亿吨级石油接替区建设夯实了资源基础。

## 6 结论

(1) 温宿—西秋地区为沙井子—西秋断裂和乌什南断裂控制的背冲式构造,沙井子—西秋断裂为其前冲断裂。背冲构造之上次级断裂复杂,在佳木区块主要发育 3 条反冲断层,反冲断层依次冲断,形成了 3 排东西向展布的古生界潜山带。冲断带高部位出露震旦系—寒武系—奥陶系潜山,在低部位保留有志留系和二叠系。

(2) 温宿—西秋地区邻近库车坳陷博孜—大北生烃中心,油气源供应充足,寒武系潜山呈北东东向大面积展布,寒武系下丘里塔格组开阔台地白云岩储层稳定分布、规模连片,古近系巨厚泥膏岩—膏盐岩形成优质区域盖层,成藏条件优越。

(3) 托探 1 井油气来源于北部博孜—大北生烃凹陷三叠系、侏罗系烃源岩,生成的油气于距今  $4\sim 1\text{Ma}$  向南斜坡持续强充注形成构造型油藏,白垩系底面、古近系底面两大不整合面是油气主要的运移通道,属典型源外成藏。研究认为丰富的油气源供应、有利且稳定发育的储盖组合、圈闭与优势运移通道相匹配及多期差异构造活动是库车南斜坡潜山油气成藏的主要控制因素。

(4) 托探 1 井的勘探突破,在库车南斜坡温宿—西秋地区发现了一个全新的勘探层系和富油气区带,



证实了库车南斜坡迎烃面多目的层潜山巨大的勘探潜力。重新优选库车南斜坡潜山带有利的勘探面积为4700km<sup>2</sup>,评价石油资源量约5.7×10<sup>8</sup>t、天然气资源量约1560×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>。

### 参考文献

- [1] 贾承造, 顾家裕, 张光亚. 库车坳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 constraints of giant and medium-sized gas fields in Kuqa Depression[J]. Chinese Science Bulletin, 2002, 47(SL): 49–55.
- [2] 刘志宏, 卢华复, 贾承造, 等. 库车前陆盆地克拉苏构造带的构造特征与油气[J]. 长春科技大学学报, 1999, 29(3): 215–217.  
Liu Zhihong, Lu Huafu, Jia Chengzao, et al. Structural characteristics and its relation with hydrocarbon of Kelasu tectonic zone in Kuqa foreland basin[J]. Journal of Changchun University of Science and Technology, 1999, 29(3): 215–217.
- [3] 魏国齐, 贾承造. 塔里木盆地逆冲带构造特征与油气[J]. 石油学报, 1998, 19(1): 21–27.  
Wei Guoqi, Jia Chengzao. Structural characteristics and oil & gas of thrusts in Tarim Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 1998, 19(1): 21–27.
- [4] 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 Kelasu structural belt, Tarim Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2022, 27(5): 106–115.
- [5] 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.
- [6] 宋文杰, 江同文. 塔里木盆地油气勘探开发进展与“西气东输”资源保障[J]. 天然气工业, 2008, 28(10): 1–4.  
Song Wenjie, Jiang Tongwen. Status of petroleum exploration and production in the Tarim Basin and guarantee of supply for the west-to-east gas pipeline project[J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(10): 1–4.
- [7] 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.
- [8] 杜金虎, 田军, 李国欣, 等. 库车坳陷秋里塔格构造带的战略突破与前景展望[J]. 中国石油勘探, 2019, 24(1): 16–23.  
Du Jinhu, Tian Jun, Li Guoxin, et al. Strategic breakthrough and prospect of Qiulitag structural belt in Kuqa Depression[J]. China Petroleum Exploration, 2019, 24(1): 16–23.
- [9] 贾爱林, 唐海发, 韩永新, 等. 塔里木盆地库车坳陷深层大气天然气水分布与开发对策[J]. 天然气地球科学, 2019, 30(6): 908–918.  
Jia Ailin, Tang Haifa, Han Yongxin, et al. The distribution of gas and water and development strategy for deep-buried gasfield in Kuqa Depression, Tarim Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2019, 30(6): 908–918.
- [10] 刘春, 陈世加, 赵继龙, 等. 库车南斜坡中—新生界油气运移地球化学示踪[J]. 地质学报, 2020, 94(11): 3488–3502.  
Liu Chun, Chen Shijia, Zhao Jilong, et al. Geochemical tracer of hydrocarbon migration path of Middle–Cenozoic in the south slope of the Kuqa foreland basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2020, 94(11): 3488–3502.
- [11] 王珂, 肖安成, 曹婷, 等. 塔里木盆地库车坳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.
- [12] 赵孟军, 鲁雪松, 卓勤功, 等. 库车前陆盆地油气成藏特征与分布规律[J]. 石油学报, 2015, 36(4): 395–404.  
Zhao Mengjun, Lu Xuesong, Zhuo Qingong, et al. Characteristics and distribution law of hydrocarbon accumulation in Kuqa foreland basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2015, 36(4): 395–404.
- [13] 付晓飞, 杨勉, 吕延防, 等. 库车坳陷典型构造天然气运移过程物理模拟[J]. 石油学报, 2004, 25(5): 38–43.  
Fu Xiaofei, Yang Mian, Lu Yanfang, et al. Physical simulation on gas migration process of typical structure in Kuqa Depression[J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(5): 38–43.
- [14] 郭令智, 施央申, 卢华复, 等. 印藏碰撞的两种远距离效应[C]//李清波, 戴金星, 刘如琦, 等. 现代地质学研究文集(上册). 南京: 南京大学出版社, 1992: 1–7.  
Guo Lingzhi, Shi Yangshen, Lu Huafu, et al. Two kinds of remote structural effects resulting from the India and Qinghai–Tibet collision[C]//Li Qingbo, Dai Jinxing, Liu Ruqi, et al. Symposium of researches on modern geology (Volume I). Nanjing: Nanjing University Press, 1992: 1–7.
- [15] 魏国齐, 贾承造, 姚慧君. 塔里木盆地晚海西期逆冲—走滑构造与含油气性[J]. 新疆石油地质, 1995, 6(2): 96–102.  
Wei Guoqi, Jia Chengzao, Yao Huijun. Late Hercynian overthrust and strike-slip structure and oil & gas potential of the Tarim Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1995, 6(2): 96–102.
- [16] 张荣虎, 邹伟宏, 陈戈, 等. 塔里木盆地北部下白垩统大型湖相砂坝特征及油气勘探意义[J]. 石油学报, 2018, 39(8): 845–857.  
Zhang Ronghu, Zou Weihong, Chen Ge, et al. Characteristics and hydrocarbon exploration significance of the huge Lower Cretaceous lacustrine sand bar in the northern Tarim Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2018, 39(8): 845–857.
- [17] 谢会文, 能源, 敬兵, 等. 塔里木盆地寒武系—奥陶系白云岩潜山勘探新发现与勘探意义[J]. 中国石油勘探, 2017, 22(3): 1–11.  
Xie Huiwen, Neng Yuan, Jing Bing, et al. New discovery in exploration of Cambrian–Ordovician dolomite buried hills in Tarim Basin and its significance[J]. China Petroleum Exploration, 2017, 22(3): 1–11.
- [18] 何莹, 鲍志东, 沈安江, 等. 塔里木盆地牙哈—英买力地区寒武系—下奥陶统白云岩形成机理[J]. 沉积学报, 2006, 24(6): 806–818.  
He Ying, Bao Zhidong, Shen Anjiang, et al. The genetic mechanism of dolostones of the Cambrian–Lower Ordovician in Yaha–Yingmaili region, Tarim Basin: dolomitization through deep buried hydrothermal fluid[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(6): 806–818.

- [19] 王欢欢, 朱光有, 薛海涛, 等. 碳酸盐岩风化壳型有效储层的形成与控制因素研究: 以塔里木盆地英买力—牙哈地区为例[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(2): 182–191.  
Wang Huanhuan, Zhu Guangyou, Xue Haitao, *et al.* Formation and controlling factors of effective weathered crust carbonate reservoirs: taking the Yingmaili–Yaha area of Tarim Basin as an example[J]. Natural Gas Geoscience, 2009, 20(2): 182–191.
- [20] 梁狄刚, 陈建平, 张宝民, 等. 塔里木盆地库车坳陷陆相油气的生成[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004: 94–96.  
Liang Digang, Chen Jianping, Zhang Baomin, *et al.* The continental oil and gas generation in the Kuqa Depression, Tarim Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004: 94–96.
- [21] 谢会文, 罗浩渝, 章学岐, 等. 秋里塔格构造带盐下构造层变形特征及油气勘探潜力[J]. 新疆石油地质, 2020, 41(4): 388–393.  
Xie Huiwen, Luo Haoyu, Zhang Xueqi, *et al.* Structural deformation and petroleum exploration potential of subsalt layer in Qiulitage structural belt, Kuqa Depression[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2020, 41(4): 388–393.
- [22] 杨海军, 李曰俊, 师骏, 等. 南天山晚新生代褶皱冲断带构造特征[J]. 第四纪研究, 2010, 30(5): 1030–1043.  
Yang Haijun, Li Yuejun, Shi Jun, *et al.* Tectonic characteristics of the Late Cenozoic south Tianshan fold–thrust belt[J]. Quaternary Sciences, 2010, 30(5): 1030–1043.
- [23] 李勇, 漆家福, 师骏, 等. 塔里木盆地库车坳陷中生代盆地性及成因分析[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.
- [24] 朱永进, 郑剑锋, 刘玲利, 等. 塔里木盆地寒武统吾松格组沉积期岩相古地理与勘探意义[J]. 天然气地球科学, 2022, 33(1): 1–12.  
Zhu Yongjin, Zheng Jianfeng, Liu Lingli, *et al.* Lithofacies paleogeography and exploration significance of Lower Cambrian Wusonger Formation depositional stage, Tarim Basin, NW China[J]. Natural Gas Geoscience, 2022, 33(1): 1–12.
- [25] 陈永权, 严威, 韩长伟, 等. 塔里木盆地寒武纪—早奥陶世构造古地理与岩相古地理格局再厘定: 基于地震证据的新认识[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(10): 1831–1843.  
Chen Yongquan, Yan Wei, Han Changwei, *et al.* Redefinition on structural paleogeography and lithofacies paleogeography framework from Cambrian to Early Ordovician in the Tarim Basin: a new approach based on seismic stratigraphy evidence[J]. Natural Gas Geoscience, 2015, 26(10): 1831–1843.
- [26] 刘伟, 张光亚, 潘文庆, 等. 塔里木地区寒武纪岩相古地理及沉积演化[J]. 古地志学报, 2011, 13(5): 529–538.  
Liu Wei, Zhang Guangya, Pan Wenqing, *et al.* Lithofacies palaeogeography and sedimentary evolution of the Cambrian in Tarim Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2011, 13(5): 529–538.
- [27] 宋金鹏, 田盼盼, 代俊杰, 等. 塔里木盆地库车坳陷膏盐岩分布特征及油气地质意义[J]. 断块油气田, 2021, 28(6): 800–804.  
Song Jinpeng, Tian Panpan, Dai Junjie, *et al.* Distribution characteristics of gypsum–salt rock and petroleum geological significance in Kuqa Depression of Tarim Basin[J]. Fault–Block Oil & Gas Field, 2021, 28(6): 800–804.
- [28] 邹志鹏, 胡剑风, 王志民, 等. 库车坳陷古近系盐底卡层技术研究与应用[J]. 中国石油勘探, 2022, 27(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, 27(1): 142–150.
- [29] 张慧芳, 王祥, 张科, 等. 塔里木盆地乌什—温宿地区油源对比与成藏演化[J]. 天然气地球科学, 2022, 33(1): 24–35.  
Zhang Hui Fang, Wang Xiang, Zhang Ke, *et al.* Oil–source correlation and accumulation evolution in Wushi–Wensu area of Tarim Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2022, 33(1): 24–35.
- [30] 卓勤功, 李勇, 鲁雪松, 等. 克拉苏构造带凝析油特征及其对油气成藏的指示意义[J]. 天然气地球科学, 2012, 23(6): 1097–1103.  
Zhuo Qingong, Li Yong, Lu Xuesong, *et al.* Condensate characteristics and its significance for hydrocarbon accumulation in the Kelasu structural belt[J]. Natural Gas Geoscience, 2012, 23(6): 1097–1103.
- [31] 肖中尧, 黄光辉, 卢玉红, 等. 库车坳陷却勒1井原油的重排藿烷系列及油源对比[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(2): 35–37.  
Xiao Zhongyao, Huang Guanghui, Lu Yuhong, *et al.* Rearranged hopanes in oils from the Quele 1 Well, Tarim Basin, and the significance for oil correlation[J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(2): 35–37.
- [32] 张斌, 崔洁, 顾乔元, 等. 塔北隆起西部复式油气区原油成因与成藏意义[J]. 石油学报, 2010, 31(1): 55–60.  
Zhang Bin, Cui Jie, Gu Qiaoyuan, *et al.* Oil origin classification in composite hydrocarbon accumulation play in the western Tabei Uplift and its geological significance[J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(1): 55–60.
- [33] 包建平, 朱翠山, 张秋茶, 等. 库车坳陷前缘隆起带上原油地球化学特征[J]. 石油天然气学报, 2007, 29(4): 40–45.  
Bao Jianping, Zhu Cuishan, Zhang Qiucha, *et al.* Geochemical characteristics of crude oil from frontal uplift in Kuqa Depression[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2007, 29(4): 40–45.
- [34] 赵孟军, 卢双舫. 库车坳陷两期成藏及其对油气分布的影响[J]. 石油学报, 2003, 24(5): 16–20, 25.  
Zhao Mengjun, Lu Shuangfang. Two periods of reservoir forming and their significance for hydrocarbon distribution in Kuqa Depression[J]. Acta Petrolei Sinica, 2003, 24(5): 16–20, 25.
- [35] 王飞宇, 杜治利, 李谦, 等. 塔里木盆地库车坳陷中生界油源岩有机成熟度和生烃历史[J]. 地球化学, 2005, 34(2): 136–146.  
Wang Feiyu, Du Zhili, Li Qian, *et al.* Organic maturity and hydrocarbon generation history of the Mesozoic oil–prone source rocks in Kuqa Depression, Tarim Basin[J]. Geochimica, 2005, 34(2): 136–146.
- [36] 刘可禹, 鲁雪松, 桂丽黎, 等. 储层定量荧光技术及其在油气成藏研究中的应用[J]. 地球科学, 2016, 41(3): 373–384.  
Liu Keyu, Lu Xuesong, Gui Lili, *et al.* Quantitative fluorescence techniques and their applications in hydrocarbon accumulation studies[J]. Earth Science, 2016, 41(3): 373–384.