

引用: 王清华, 杨海军, 李勇, 等. 塔西南山前地区恰探1井石炭系一二叠系重大突破与勘探前景[J]. 中国石油勘探, 2023, 28(4): 34-45.

Wang Qinghua, Yang Haijun, Li Yong, et al. Major breakthrough in the Carboniferous-Permian in Well Qiatan 1 and exploration prospect in the piedmont southwestern Tarim Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2023, 28(4): 34-45.

塔西南山前地区恰探1井石炭系一二叠系重大突破与 勘探前景

王清华 杨海军 李勇 蔡振忠 杨宪彰 徐振平 陈才 孙春燕

(中国石油塔里木油田公司)

摘要: 塔西南山前地区西天山冲断带乌恰构造带恰探1井在石炭系一二叠系碳酸盐岩获得重大突破, 标志着塔西南山前地区发现一个重要的勘探接替层系。结合区域地质资料, 根据野外露头、钻井、地震等研究, 以及恰探1井、昆探1井等分析化验资料的综合分析, 对塔西南山前地区石炭系一二叠系的成藏条件进行再认识。研究认为, 塔西南山前地区晚石炭世一早二叠世发育宽缓的“马蹄形”台缘带, 形成了呈带分布的高能滩有利沉积相带, 区内二叠系棋盘组发育海湾潟湖相烃源岩, 厚度最大达到500m, 有机质类型为I—II型, 有机质丰度高; 受沉积相带和岩溶作用双重控制, 在晚石炭世一早二叠世形成裂缝—孔洞型碳酸盐岩储层, 与上覆二叠系棋盘组厚层泥岩构成有利生储盖组合, 进而建立了“下生上储、断裂输导、近源成藏”的油气成藏新模式。综合分析认为, 该地区石炭系一二叠系断背斜圈闭成排成带分布, 具有近源成藏优势, 评价优选出了叶探1井、阿北1JS井等多个有利勘探目标方向, 具有良好的勘探前景, 可成为规模天然气勘探发现的重要接替领域。

关键词: 塔西南山前地区; 石炭系一二叠系; 恰探1井; 碳酸盐岩; 成藏条件

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1672-7703.2023.04.004

Major breakthrough in the Carboniferous-Permian in Well Qiatan 1 and exploration prospect in the piedmont southwestern Tarim Basin

Wang Qinghua, Yang Haijun, Li Yong, Cai Zhenzhong, Yang Xianzhang, Xu Zhenping, Chen Cai, Sun Chunyan

(PetroChina Tarim Oilfield Company)

Abstract: A major breakthrough has been made in the Carboniferous-Permian carbonate rocks in Well Qiatan 1 in Wuyia structural zone in the West Tianshan Thrust Belt, marking the discovery of a major replacement formation in the piedmont southwestern Tarim Basin. Combined with the regional geological data, studies on field outcrops, drilling, and seismic data, as well as the comprehensive analysis of laboratory experimental and test data in wells Qiatan 1 and Kuntan 1, hydrocarbon accumulation conditions in the Carboniferous-Permian in the piedmont southwestern Tarim Basin are re-recognized. The study results show that a “horseshoe-shaped” platform margin zone was developed in the Late Carboniferous-Early Permian in the piedmont southwestern Tarim Basin, and a favorable high-energy beach sedimentary facies zone was formed in belts, in which source rocks of bay lagoon facies were deposited in the Permian Qipan Formation, with a thickness of up to 500 m, type I-II organic matter, and high organic matter abundance. Jointly controlled by sedimentary facies and karstification, the fractured-vuggy type carbonate reservoirs were developed in the Late Carboniferous-Early Permian, forming a favorable reservoir and cap rock assemblage with the overlying thick mudstone in the Permian Qipan Formation. As a result, a new hydrocarbon accumulation pattern of “lower source rock

基金项目: 中国石油天然气股份有限公司科技专项“塔里木盆地深层碎屑岩重点地区综合地质研究、目标优选、技术攻关与现场试验”(2022KT0201)。

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: 2023-05-22; 修改日期: 2023-07-03

and upper reservoir, hydrocarbon transport by fault and near-source accumulation" is established. The comprehensive analysis indicates that the fault anticline traps in the Carboniferous-Permian are distributed in rows and belts, which have the advantage of near-source hydrocarbon accumulation, and a number of favorable exploration targets such as wells Yetan 1 and Abei 1JS are optimally selected after evaluation, showing good exploration prospects, which are expected to be the major replacement field for large-scale gas exploration and discovery.

Key words: piedmont southwestern Tarim Basin, Carboniferous-Permian, Well Qitan 1, carbonate rock, hydrocarbon accumulation condition

0 引言

塔西南山前地区位于塔里木盆地西南坳陷的西部和西南部,主要发育石炭系一二叠系、侏罗系、白垩系、古近系、新近系等多套含油气层系。根据第四次油气资源评价结果,塔西南山前地区石油地质资源量为 $4.5 \times 10^8 \text{t}$,天然气资源量为 $1.9 \times 10^{12} \text{m}^3$,油气资源丰富,勘探潜力大,但勘探程度整体较低^[1-9]。勘探早期,以白垩系为主要勘探目的层,2001年阿克1井在白垩系获得工业气流,日产气 $43 \times 10^4 \text{m}^3$,发现阿克莫木气田^[10];2010年柯东构造带柯东1井在白垩系取得重大突破,日产气 $9 \times 10^4 \text{m}^3$,发现柯东1凝析气藏^[11];2021年甫沙8井在侏罗系获工业油流,日产油 20.6m^3 ,发现甫沙8油藏。截至目前,塔西南山前地区已发现油气藏(田)5个,探明石油地质储量 $2998 \times 10^4 \text{t}$ 、天然气地质储量 $845 \times 10^8 \text{m}^3$ 。近10年来,先后钻探10余口探井,塔西南山前地区白垩系一直没有取得新的突破和发现,勘探进入瓶颈期,急需寻找新的勘探接替发现和领域。

前期塔西南山前地区石炭系一二叠系的研究主要聚焦二叠系烃源岩的系统分析^[12],而针对烃源岩之下的碳酸盐岩,长期以来未作为主要的勘探目的层系。塔西南山前地区仅有7口井钻遇上石炭统一下二叠统碳酸盐岩有效储层,其中乌恰1井钻遇二叠系碳酸盐岩风化壳,发育溶蚀孔洞型储层;八盘1井在上石炭统一下二叠统碳酸盐岩段测井解释I类储层5m,孔隙度为8.8%,II类储层3m,孔隙度为3.9%;中国石化桑株1井在上石炭统一下二叠统发育裂缝型白云岩储层^[13],孔隙度最大值为7.2%,并见到良好油气显示;桑株剖面上石炭统一下二叠统发育串管海绵—珊瑚点礁,礁灰岩孔隙度最大值为18.81%,平均值为9.91%;昆探1井钻遇上石炭统一下二叠统高能颗粒滩相储层,见到良好气测显示,均说明石炭系一二叠系碳酸盐岩具有较好的勘探潜力。

为探索西天山冲断带逆掩叠置带的含油气性,实现阿克深层油气勘探突破,2021年部署恰探1风险

探井,在石炭系一二叠系塔哈奇组获得重大油气发现,标志着塔西南山前地区发现一个全新的勘探层系,打开了石炭系一二叠系近源勘探的新局面。本文以恰探1井的发现为契机,系统分析塔西南山前地区烃源岩特征、储盖组合分布和成藏要素的时空配置关系,旨在进一步揭示石炭系一二叠系的油气成藏条件和富集特征,明确其勘探潜力和方向,为该地区的深化勘探和西南坳陷其他地区的拓展勘探提供有益的参考和借鉴。

1 区域地质背景

西南坳陷位于塔里木盆地西南部,北与南天山山脉西段相邻,西南侧为昆仑山脉,东接中央隆起,具有以古生界—新生界沉积为主的叠合型前陆盆地特征^[14-16],总面积约为 $14 \times 10^4 \text{km}^2$,是塔里木盆地油气勘探战略接替区之一。

塔西南山前地区主要包括西昆仑山冲断带、西天山冲断带两大冲断带和喀什凹陷、叶城—和田凹陷^[17];西昆仑山冲断带在该区自西向东主要划分为乌泊尔构造带、苏盖特构造带、柯克亚构造带等8个构造带;西天山冲断带主要包括乌恰构造带、克拉托构造带、阿图什构造带等5个构造带(图1)。塔西南山前冲断构造带主体表现为向帕米尔东缘抬升、倾向盆地方向的单斜构造,构造带分层变形特征明显。海西期(石炭纪),塔里木盆地处于古特提斯洋北部,处于被动大陆边缘,在泥盆系古地貌之上,沉积了厚层石炭系阿孜干组一二叠系克孜里奇曼组碳酸盐岩。印支期(三叠纪末),塔里木板块的西昆仑山和西天山山前受构造挤压整体抬升,缺失三叠系,山前普遍发育多排古生界逆冲断裂带,构造逆掩叠置,古生界主体受印支期高角度逆冲(可能兼有走滑)断裂控制,形成一系列叠瓦冲断构造(图2),发育局部背斜或断背斜。燕山期,受印支期古地貌影响,中生界沿石炭系一二叠系古冲断带之间填平补齐沉积,为断陷—凹陷沉积,沿山前冲断带呈不规则带状分布。喜马拉雅期运动使构造复杂化,向盆地方向逆冲断层发育,

下部沿寒武系膏盐层存在明显滑脱现象,中新世以来,受印度板块与欧亚板块挤压远程效应的影响,盆地过渡带开始发生挠曲构造变形,但变形强度不大,中新统各地层沉积厚度变化不大。上新世至今,随着昆仑山、天山不断挤压,山前中浅层形成多排构造带

并不断破碎、复杂化,深部古生界在多排印支期冲断构造的基础上形成复式断裂褶皱带,断鼻或断背斜构造幅度增大。新生界构造相对简单,受晚期构造活动影响,单斜背景下发育局部背斜构造,并伴生走滑断裂。

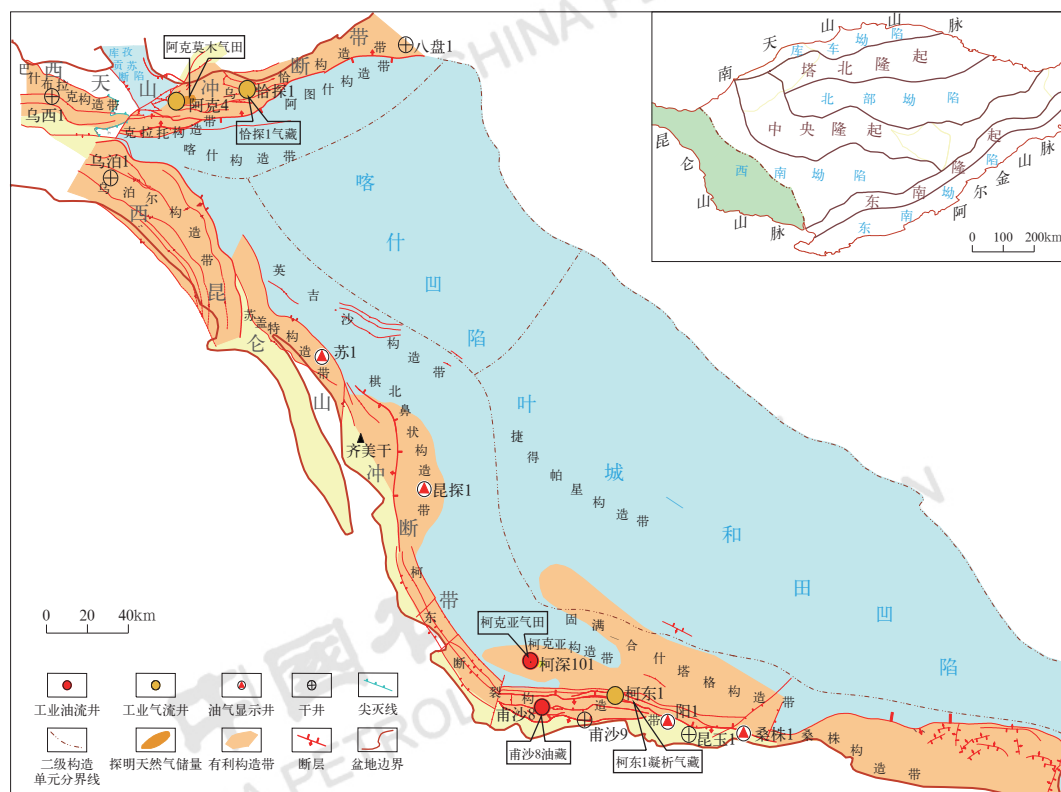


图1 塔西南山前地区构造单元划分与勘探成果图

Fig.1 Division of structural units and exploration results in the piedmont southwestern Tarim Basin

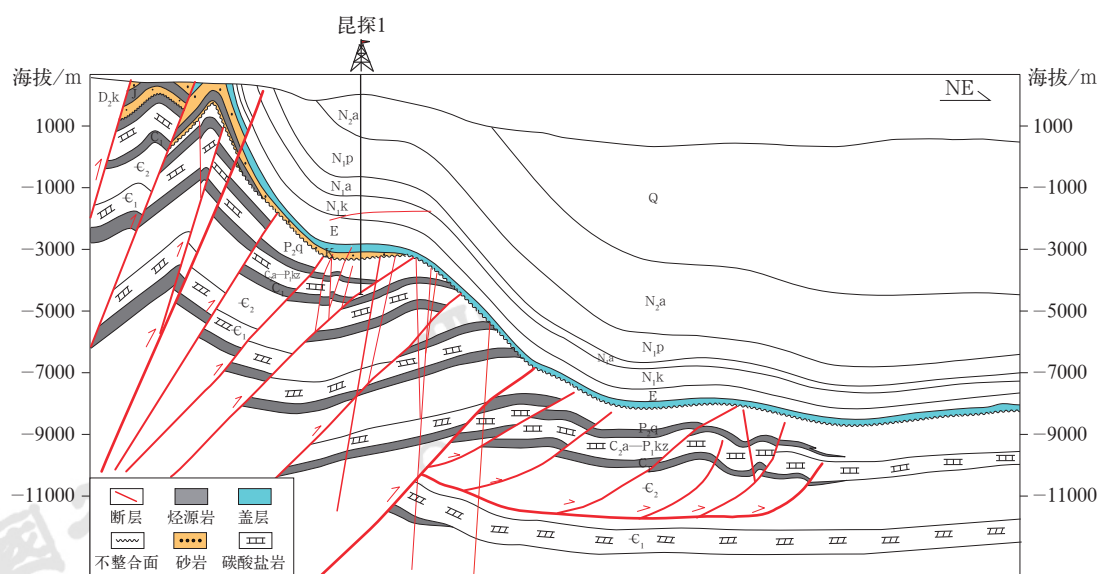


图2 塔西南山前地区典型叠瓦冲断构造地质结构样式剖面图

Fig.2 Geological structural style of typical imbricated thrust structures in the piedmont southwestern Tarim Basin

N₂a—阿图什组; N₂p—帕卡布拉克组; N₁a—安居安组; N₁k—克孜洛依组; P₂q—棋盘组; C₂a—阿孜干组; P₁kz—克孜里奇曼组; D₂k—卡拉乌依组

受海西期构造运动和海平面变化影响,石炭系—二叠系沉积时期,塔西南山前地区经历了一个较为完整的“海侵—海退”旋回^[18-19]。早石炭世时期,塔西南山前地区自西向东开始出现海侵,为浅海陆棚环境。中一晚石炭世时期,继承早石炭世沉积格局,开始发育碳酸盐开阔台地相。晚石炭世—早二叠世初期,海侵达到最大,整体上为东高西低的古地貌沉积格局,发育多套亮晶颗粒灰岩、泥晶灰岩、白云岩等岩相组合类型,地层自下而上划分为阿孜干组、塔哈奇组、克孜里奇曼组(图3),阿孜干组岩性主要为灰色泥晶—亮晶砂屑灰岩,少量泥晶灰岩,塔哈奇组主要发育灰色亮晶砂屑灰岩、亮晶生屑灰岩、亮晶含云颗粒灰岩,克孜里奇曼组岩性以灰色亮晶生屑砂屑灰岩夹薄层灰色泥晶灰岩为主,上部发育少量灰色粉晶白云岩,该时期碳酸盐台地沉积达到最大规模。中二叠世时期,塔西南山前地区开始海退,演变为海陆过渡相沉积,地层主要为棋盘组,岩性以灰色泥岩、

灰色粉砂质泥岩为主,局部夹薄层灰色泥质粉砂岩,为主力烃源岩发育层系。晚二叠世时期,海水全面退出塔西南山前地区,完全进入了陆相沉积阶段。

2 恰探1井风险勘探重大突破

恰探1井于2021年2月6日开钻,2023年1月9日完钻,完钻井深为6909m,完钻层位为泥盆系,石炭系—二叠系碳酸盐岩段钻厚650m。恰探1井在石炭系—二叠系碳酸盐岩段见197m/74层气测显示,最好显示井段为5697~5715m,厚18m,岩性为褐灰色生屑砂屑灰岩;测井解释石炭系—二叠系碳酸盐岩差气层和气层共79m/9层,平均测井孔隙度为4.6%。在恰探1井石炭系—二叠系塔哈奇组下段5702~5760m进行酸压测试,5mm油嘴,油压为24.168MPa,日产气79174m³(图4)。

3 石炭系—二叠系成藏特征与模式

以恰探1井在石炭系—二叠系取得勘探重大突破为契机,分别从冲断构造带特征、烃源岩条件、有利储集体分布、盖层条件、成藏模式等方面开展了石炭系—二叠系油气地质特征及勘探潜力与方向的重新认识,明确塔西南山前地区发育石炭系—二叠系碳酸盐岩储层且紧邻烃源岩,生储盖组合配置优越,说明具备较大勘探潜力。

3.1 二叠系棋盘组为主力烃源岩

根据新的钻井分析资料,结合区域构造背景和前人研究成果^[20-22],对塔西南山前地区二叠系棋盘组的烃源岩进行了系统分析,落实了烃源岩分布及生烃中心。研究表明,海西期古冲断带和区域断裂控制二叠系沉积与烃源岩的分布,棋盘组沉积时期,在昆仑山前地区形成呈北西—南东向展布的海湾潟湖,恰探1井的北部发育广海陆棚(图5),均为主要烃源岩发育的有利沉积环境。通过地震相特征识别,预测了烃源岩的空间分布,塔西南山前地区自喀什凹陷周缘至齐美干周缘均发育二叠系棋盘组烃源岩,厚度可达200m,分布面积为 $2.6 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中底部为海相咸水局限贫氧还原环境,是烃源岩集中发育段。在乌恰构造带东段发育一个二叠系棋盘组烃源岩的生烃中心(图6),厚度可达500m,长约85km,宽30km,面积为 $0.26 \times 10^4 \text{ km}^2$,为乌恰构造带油气源。

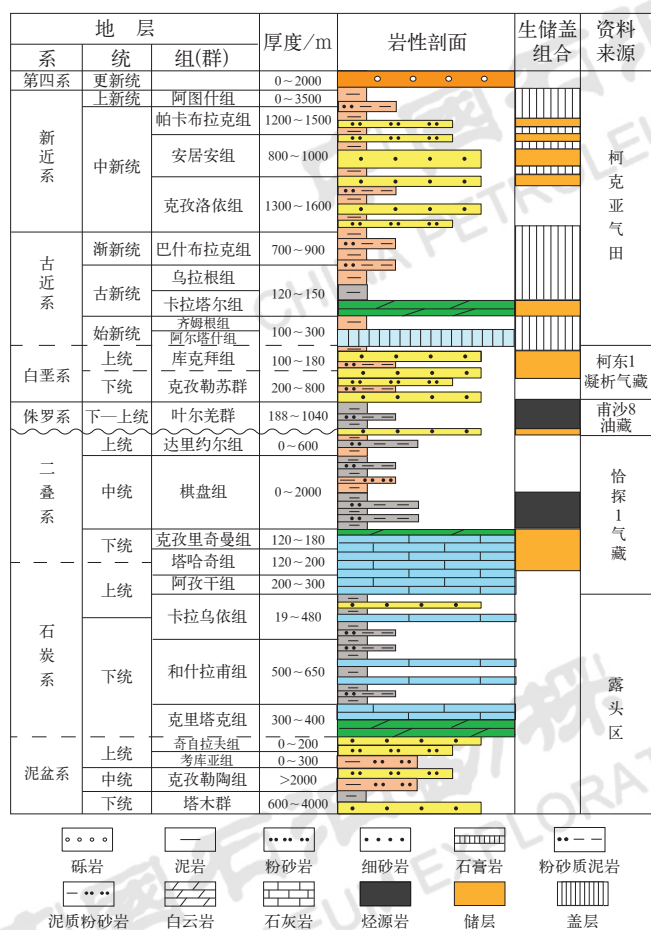


图3 塔西南山前地区地层综合柱状图

Fig.3 Comprehensive stratigraphic column in the piedmont southwestern Tarim Basin

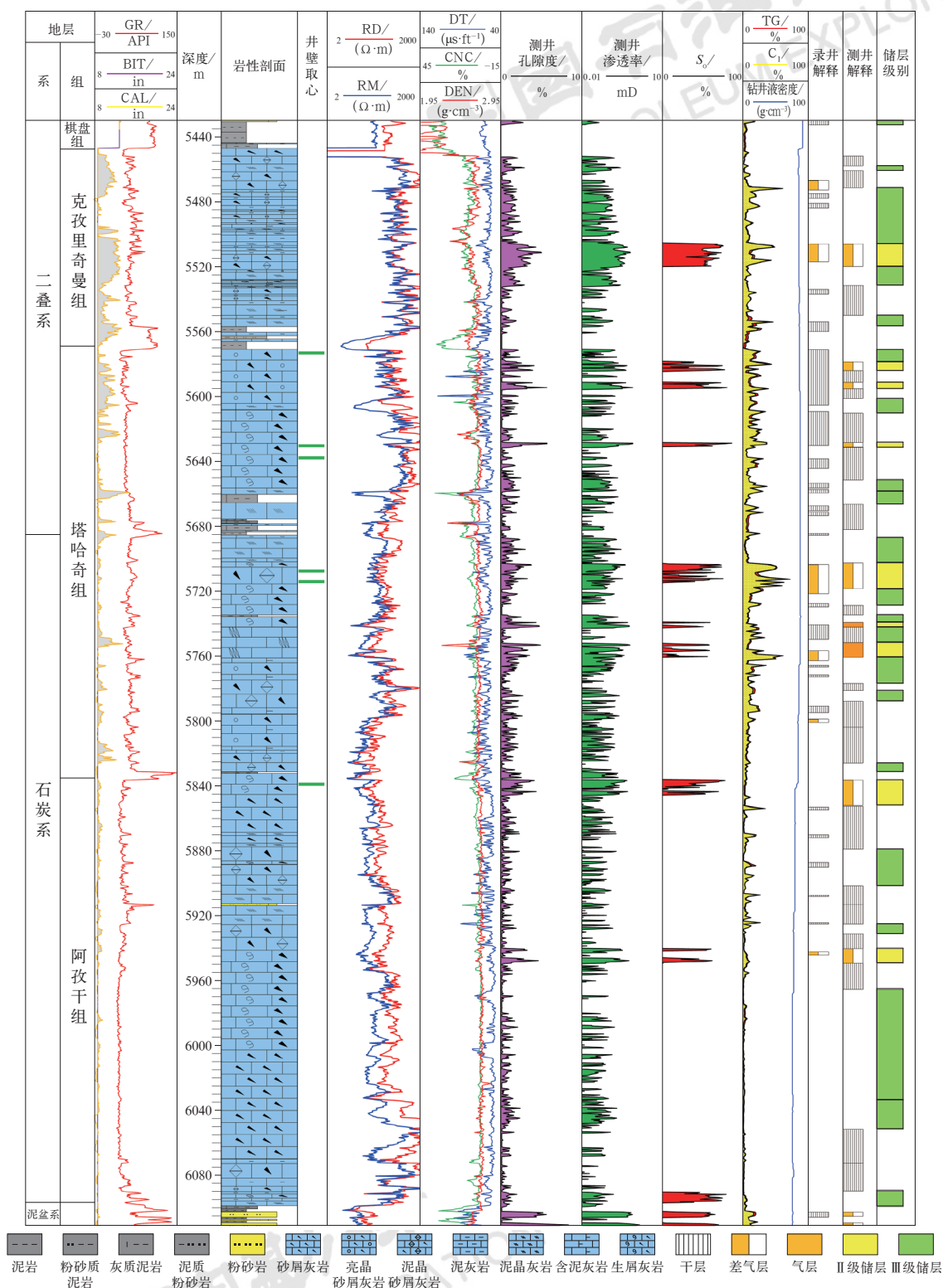


图4 恰探1井石炭系—二叠系碳酸盐岩段四性关系图

Fig.4 Four-property relationship of the Carboniferous-Permian carbonate rocks in Well Qitian 1

恰探1井钻遇二叠系棋盘组海相泥质烃源岩, 累计厚度为467m, 集中发育在棋盘组底部, 烃源岩成烃生物以藻类体和无定形体为主(图7), 有机质类型为I—II型; 有机碳含量为0.52%~1.84%,

平均为1.12%; 生烃潜量多在0.39~1.3mg/g之间, 平均为0.69mg/g; 氯仿沥青“A”平均为0.12%; 氢指数(I_H)为15~166mg/g, 平均为43mg/g; 烃源岩镜质组反射率(R_o)为1.13%~1.36%; 最

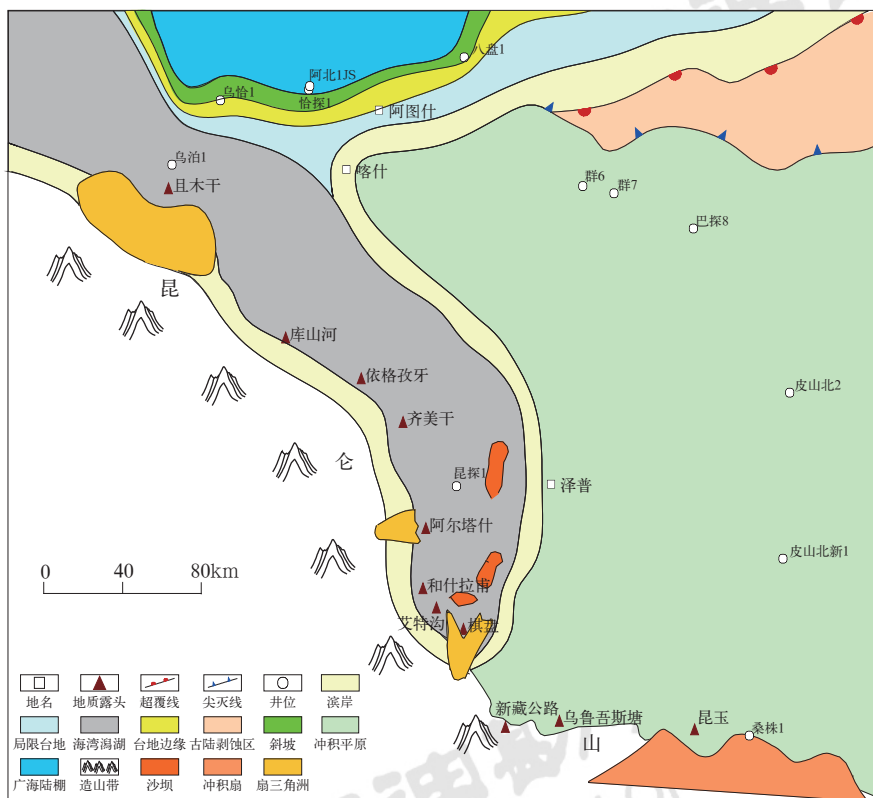


图 5 塔西南山前地区二叠系棋盘组沉积相图

Fig.5 Sedimentary facies map of the Permian Qipan Formation in the piedmont southwestern Tarim Basin

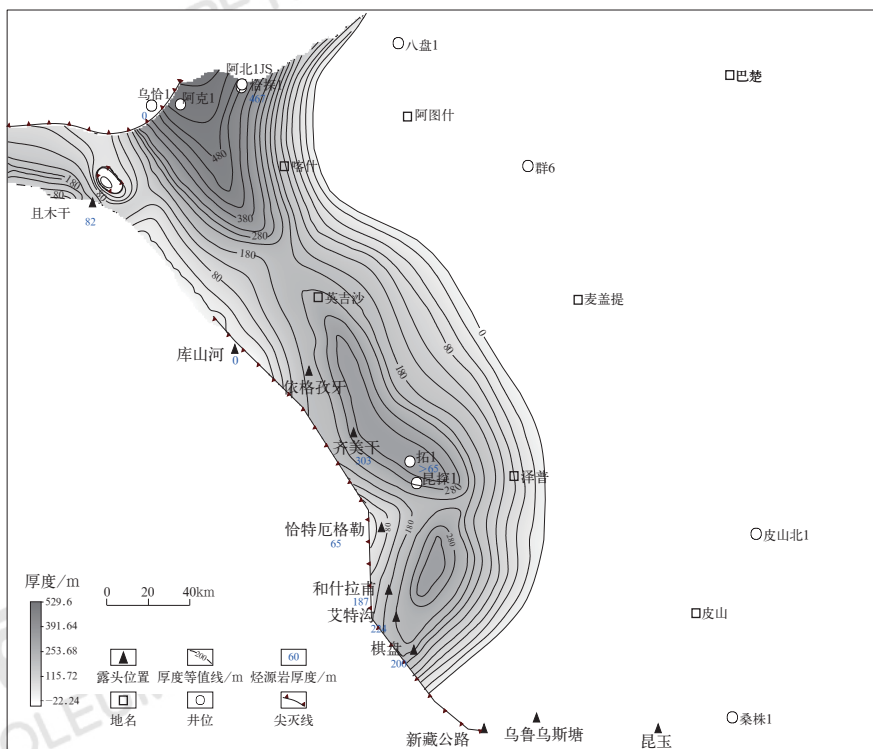
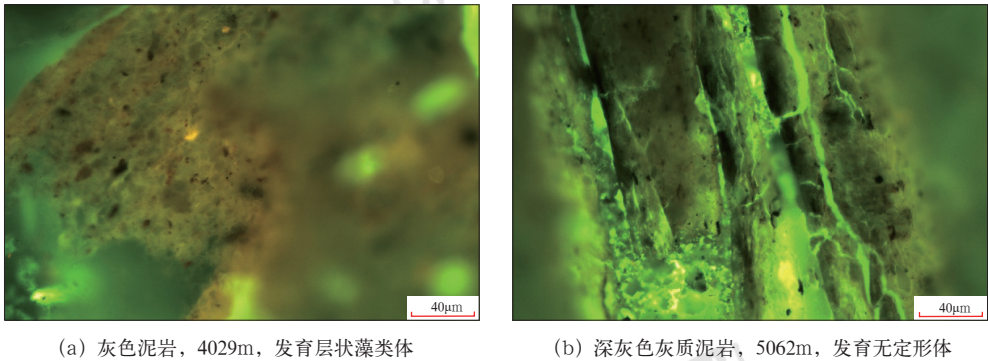


图 6 塔西南山前地区二叠系棋盘组烃源岩厚度图

Fig.6 Thickness map of source rock in the Permian Qipan Formation in the piedmont southwestern Tarim Basin

高峰温 T_{\max} 为 437~633℃，平均为 488℃，处于高成熟凝析气阶段。恰探 1 井石炭系—二叠系天然气组分具有干燥系数高、非烃含量高、甲烷碳同位素重、氦气含量高的特征，根据甲烷碳同位素及 C_1/C_{2+3} 组分成因图版判识，天然气气源母质偏腐殖型，与阿克莫木气田特征基本一致（图 8）；天然气

样品测试 $\delta^{13}C_1$ 为 -28‰~-26‰，折算烃源岩成熟度镜质组反射率 R_o 为 2.05%~2.46%，为过成熟阶段产物，与阿克莫木气田天然气特征相似（表 1），根据 R_o 与埋深关系推测烃源岩埋深大于 10000m，说明恰探 1 井油气来自下盘深部二叠系棋盘组烃源岩。



(a) 灰色泥岩，4029m，发育层状藻类体 (b) 深灰色灰质泥岩，5062m，发育无定形体

图 7 恰探 1 井二叠系棋盘组烃源岩荧光照片

Fig.7 Fluorescent photos of source rock in the Permian Qipan Formation in Well Qiatan 1

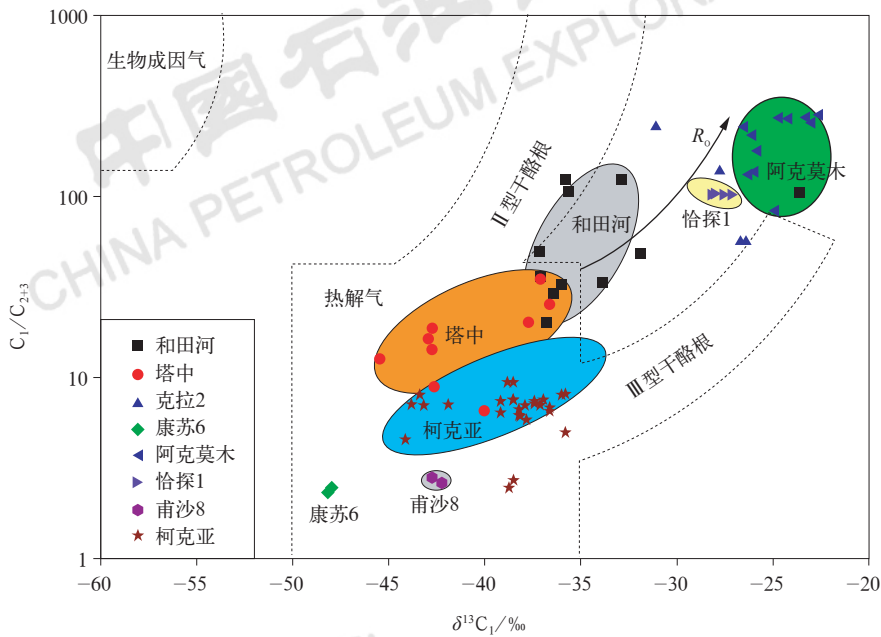


图 8 甲烷碳同位素及 C_1/C_{2+3} 组分成因判识图版

Fig.8 Natural gas genetic identification chart by methane carbon isotope and C_1/C_{2+3} components

表 1 恰探 1 井、阿克莫木气田天然气碳同位素折算成熟度数据表

Table 1 Natural gas carbon isotope converted source rock maturity in Well Qiatan 1 and Akemomu Gasfield

井号 / 区块	产气层位	天然气 相对密度	碳同位素平均值 / ‰				氦气 / ‰	干燥系数 (C_1/C_{1-5})	推测烃源岩 成熟度 R_o / ‰	
			CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	nC ₄ H ₁₀			最小值	最大值
恰探 1 井	C—P	0.6277	-27.75	-20.17	-18.41	-18.06	0.107	0.991	2.05	2.46
阿克莫木气田	K	0.7006	-24.9	-21.7	-20.3	—	0.134	0.995	2.44	3.06

3.2 塔哈奇组台缘礁滩有利储集体呈条带状分布

上石炭统一二叠统塔哈奇组沉积时期,塔西南山前地区发生广泛海侵,发育半局限台地、台地边缘、斜坡、广海陆棚4种主要沉积相类型(图9)。塔哈奇组岩性以灰色、浅灰色厚层生屑砂屑灰岩、礁灰岩、泥质灰岩、灰质泥岩为主,少量白云岩。沿塔西南山前发育宽缓“马蹄形”台地边缘带,长450km,面积为 $1.8 \times 10^4 \text{ km}^2$,高能台缘颗粒滩储层广泛发育,包

括砂屑滩、鲕粒滩、生屑滩等,局部发育点礁、台缘藻丘;向台盆内发育半局限台地相沉积,广泛发育台内滩储层,包括砂屑滩、鲕粒滩、生屑滩。塔里木盆地广泛发育晚石炭世—早二叠世内幕不整合面^[23-24],向塔西南山前不整合幅度减小,塔哈奇组内部发育短期暴露岩溶作用,高能滩叠加不整合岩溶改造,储层规模分布。另外,晚石炭世—早二叠世发育3~4个高频旋回,优质储层主要分布在高频旋回中上部,以高能生屑滩、砂屑滩为主,主要为裂缝—孔洞型储层。

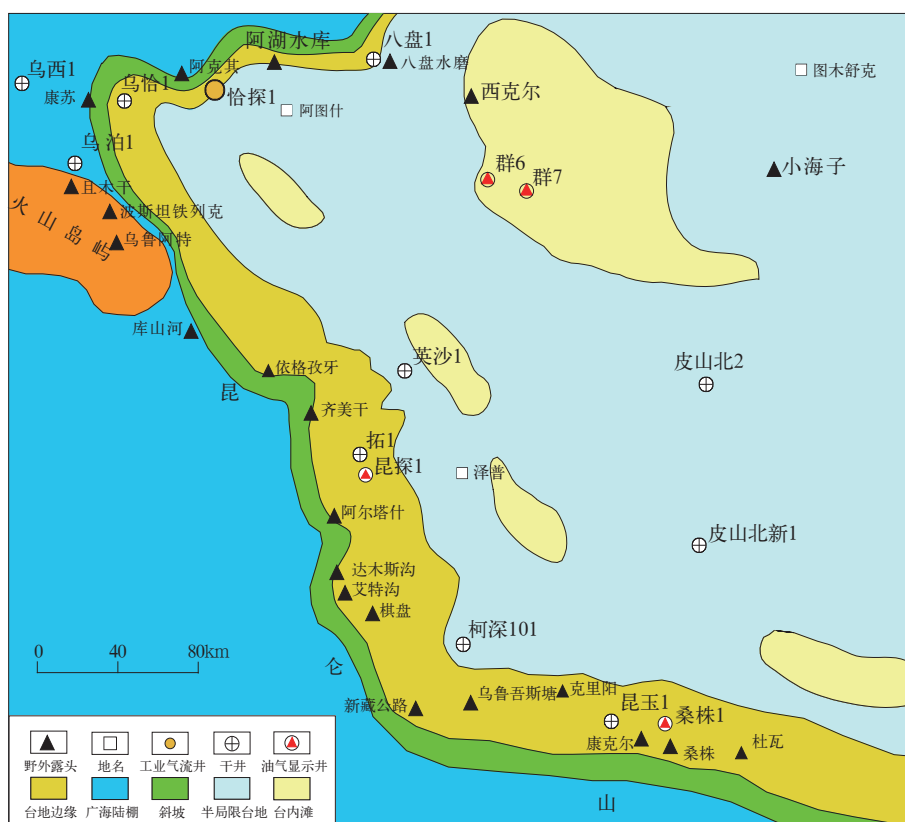


图9 塔西南山前地区上石炭统一二叠统塔哈奇组沉积相图

Fig.9 Sedimentary facies map of Tahaqi Formation in the Upper Carboniferous-Lower Permian in the piedmont southwestern Tarim Basin

从恰探1井实钻来看,晚石炭世—早二叠世发育台地边缘相—半局限台地相互层沉积。自下而上,阿孜干组GR值整体相对较低,上部岩性以泥晶灰岩、泥晶—亮晶生屑灰岩、亮晶砂屑生屑灰岩互层为主,为半局限台地滩间海和台内滩互层沉积,中下部为亮晶砂屑生屑灰岩、亮晶生屑灰岩(图10a),以高能台缘生屑滩沉积为主;塔哈奇组主要为亮晶砂屑灰岩、泥晶生屑灰岩(图10b、c),可见大量生物碎屑,为台缘颗粒滩相;克孜里奇曼组岩性为灰色泥晶灰岩、亮晶生屑灰岩(图10d),夹灰黑色含生屑泥质灰岩条带,GR值整体相对较高,泥质含量较

重,为相对低能的台缘内侧半局限台地沉积。储层类型主要为高能颗粒滩相储层,储集空间以裂缝和孔洞为主;岩心及井壁取心可见明显的构造缝、溶蚀缝(图10e),岩心裂缝处见气泡冒出。塔哈奇组下段5700~5835m裂缝密度可达0.67条/m,岩心及薄片可见裂缝沟通溶蚀孔洞(图10f),沿裂缝见明显溶蚀扩大,说明晚石炭世—早二叠世主要发育裂缝—孔洞型碳酸盐岩储层。岩心实测孔隙度为0.2%~3.92%、平均孔隙度为1.41%;测井解释克孜里奇曼组平均孔隙度为1.41%、平均渗透率为0.13mD,塔哈奇组平均孔隙度为1.21%、平均渗透率为0.11mD。

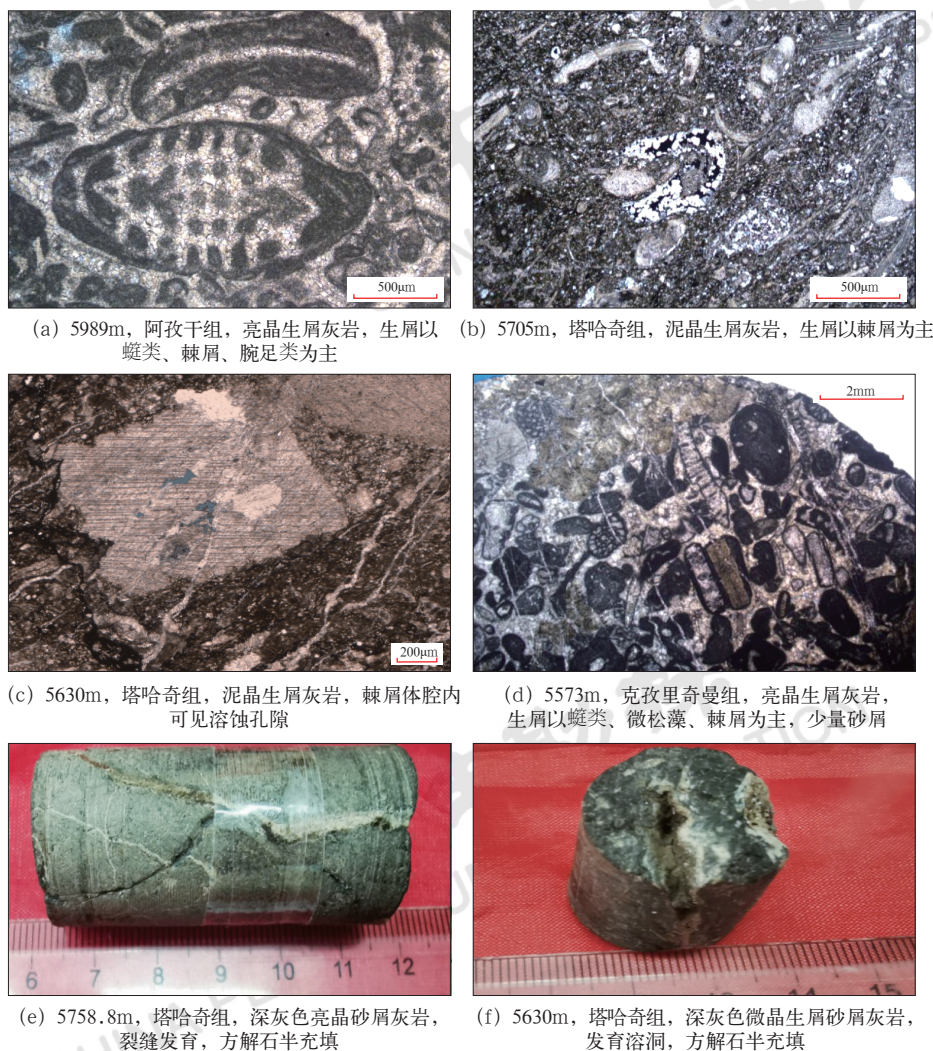


图 10 恰探 1 井上石炭统一下二叠统碳酸盐岩储层岩心与薄片照片

Fig.10 Core and thin section photos of carbonate rock reservoir in the Upper Carboniferous–Lower Permian in Well Qitan 1

3.3 发育区域优质盖层

塔西南山前地区泥岩类盖层的厚度较大, 连续分布, 分布范围广。二叠系棋盘组以海湾潟湖沉积为主, 泥岩厚度大, 是一套区域稳定盖层, 封盖能力强。露头区棋盘组以灰色厚层、块状泥岩为主, 夹灰绿色薄层粉—细砂岩, 泥岩最大单层厚度约 40m。二叠系沉积中心位于塔西南山前地区阿图什以北及泽普以西地区, 主要分布在恰探 1 井和昆探 1 井周缘, 厚度为 1500~4000m, 其中恰探 1 井厚度为 3669m, 昆探 1 井厚度为 1517m, 岩性以泥岩为主, 偶见薄层粉砂岩, 砂地比低, 是区域优质盖层。

3.4 圈闭发育特征

乌恰构造带属西天山冲断带, 近东西向展布,

长约 160km, 面积约为 2400km², 表现为分层变形特征, 南天山和昆仑山对冲结构明显, 向东昆仑山挤压作用逐渐减弱。海西期古构造、古断裂控制古生界发育多排冲断构造雏形, 喜马拉雅期受南天山强挤压构造作用的影响, 构造由北向南逆冲推覆, 发育基底卷入为主的断裂, 断距大, 地层高陡甚至发生倒转, 向上可断至地表。空间上发育多条北倾逆断裂, 构造逆掩叠置样式清楚, 其中主断裂发育多条派生次级断裂, 古生界发育叠瓦式冲断构造, 深层石炭系—二叠系构造相对稳定, 发育多排叠瓦叠置冲断构造, 形成背斜、断背斜圈闭, 冲断构造高部位往往形成碳酸盐岩潜山构造(图 11)。浅层为宽缓单斜及背斜形态, 中—新生界揉皱变形剧烈, 形成浅部的复杂垒带, 发育倒转—高陡背斜, 地表见地层倒转。

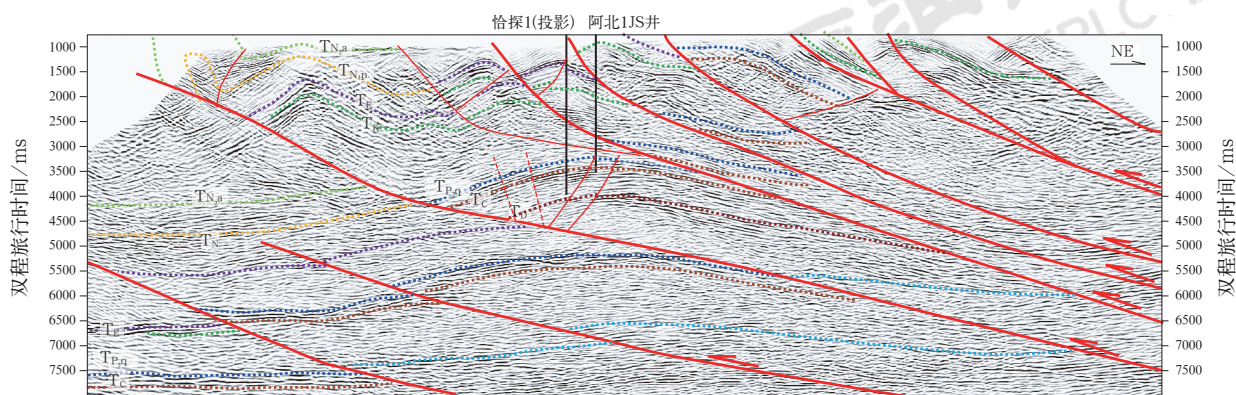


图11 乌恰构造带阿北线束叠后时间偏移剖面地震解释图

Fig.11 Post stack time migration seismic interpretation profile of Abei swath in Wuqia structural zone

乌恰石炭1号构造表现为受F1、F2两条近东西走向北倾断裂夹持的断背斜构造，断背斜构造走向为近东西向，构造高部位南北两翼发育4条次级断裂（图12），形成突发构造，恰探1井位于突发

构造高部位附近，地震剖面上南北向、东西向回倾清晰，背斜背景下的高部位突发构造较落实。乌恰石炭1号圈闭面积为78.5km²，幅度为750m，高点埋深为5400m。

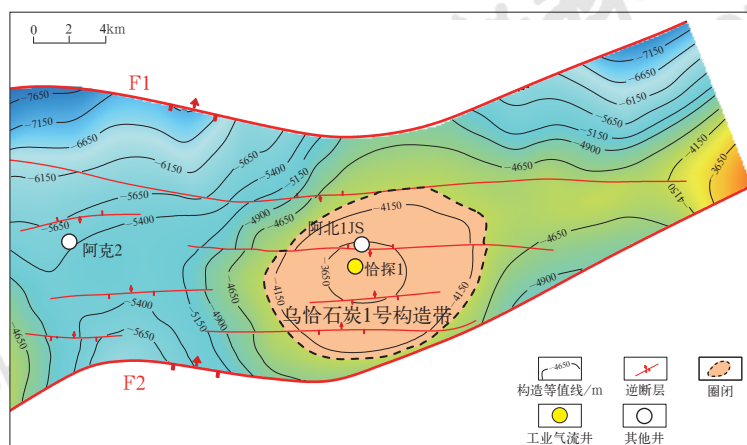


图12 恰探1井二叠系克孜里奇曼组顶面构造图

Fig.12 Top structural map of the Permian Keziliqiman Formation in Well Qitan 1

3.5 下生上储—近源运聚成藏模式

乌恰构造带石炭系一二叠系碳酸盐岩气藏的油气主要来自深部下盘的二叠系棋盘组烃源岩，储层主要发育在台缘高能礁滩和台内高能滩相带内，以裂缝—孔洞型碳酸盐岩储层为主。下盘二叠系烃源岩生成的天然气，沿边界逆冲断裂垂向运移至断裂带上倾方向的石炭系一二叠系碳酸盐岩圈闭中成藏，上覆棋盘组泥岩提供了良好的区域盖层条件，油气成藏条件有利（图13）。恰探1井石炭系一二叠系气藏主要特征：天然气干燥系数为99%，天然气相对密度为0.6277，表现为干气气藏，综合分析认为恰探1井石炭系一二叠系碳酸盐岩气藏为边水层状干气气藏。

乌恰构造带圈闭形成时间与烃源岩生油气阶段时

空匹配良好，具备良好的成藏条件。乌恰石炭1号圈闭在三叠纪末形成多排冲断构造，此时，下盘逆掩叠置二叠系烃源岩，埋藏浅，还未进入生烃阶段；上新世末期，下盘二叠系烃源岩进入生气高峰期，构造挤压进一步强烈，但古生界乌恰石炭1号圈闭变形弱，保存条件好，气藏未遭受破坏。上述分析表明，乌恰石炭1号圈闭的成藏匹配条件良好。

结合区域构造背景，开展塔西南山前构造建模研究，明确古生界构造叠瓦冲断，断裂上盘发育断背斜、背斜，构造相对完整，向南第三排构造变形弱，埋深适中，保存条件好，二叠系厚层烃源岩强烈逆掩叠置，构成空间上“下生上储、断裂输导、近源成藏”新模式，明确了石炭系一二叠系的油气成藏特征和分布规律。

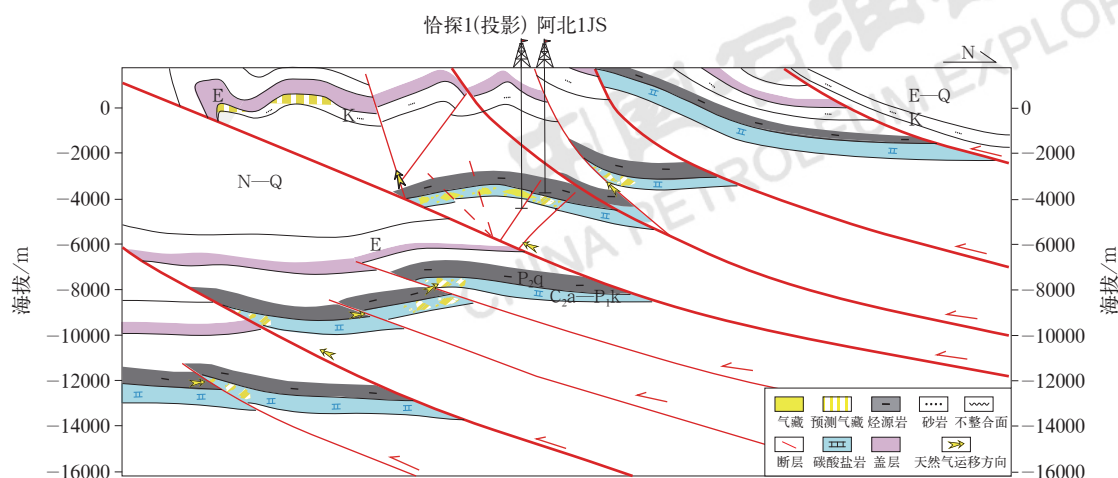


图13 塔西南山前地区乌恰构造带油气成藏模式图

Fig.13 Hydrocarbon accumulation pattern in Wuqia structural zone in the piedmont southwestern Tarim Basin

4 勘探前景分析

恰探1井石炭系一二叠系取得战略突破,证实了二叠系厚层烃源岩与上石炭统一下二叠统碳酸盐岩储层在山前多排逆掩叠置带可形成优质近源生储盖组合,配置优越,开创了石炭系一二叠系近源勘探的新局面。重新开展石炭系一二叠系油气综合评价,提出乌恰构造带、齐美干构造带、柯东断裂构造带,落实埋深小于8000m有利勘探面积近7050km²。其中,乌恰构造带埋深小于8000m有利勘探面积1440km²,齐美干构造带埋深小于8000m有利勘探面积3230km²,柯东断裂构造带埋深小于8000m有利勘探面积2380km²。

塔西南山前地区石炭系一二叠系叠瓦冲断构造圈闭成排成带,断背斜圈闭发育、资源规模大、可部署性强,展示出塔西南山前地区石炭系一二叠系巨大的勘探潜力。目前评价优选出乌恰石炭1号、乌恰石炭2号、齐美石炭1号、齐美石炭2号、柯深石炭1号、柯深石炭2号、柯深石炭3号等7个有利圈闭,总面积为358.5×10⁴km²,预测圈闭天然气资源量2045×10⁸m³。目前乌恰构造带已部署阿北1JS井加深,柯东断裂构造带已部署叶探1井,计划齐美干构造带部署昆探2预探井。通过整体评价与钻探部署,有望实现塔西南山前地区石炭系一二叠系天然气勘探的持续突破,使其成为该地区天然气资源的重要接替领域。

5 结论

(1) 塔西南山前地区晚石炭世一早二叠世主要

发育半局限台地、台地边缘、斜坡、广海陆棚4种主要沉积相类型,台地边缘高能滩体沿塔西南山前地区呈宽缓“马蹄形”展布,长450km,面积为1.8×10⁴km²,叠加不整合岩溶改造,裂缝—孔洞型储层层状规模分布。

(2) 塔西南山前地区古生界发育叠瓦逆冲构造,断裂上盘发育断背斜、背斜,构造相对完整,二叠系厚层泥岩强烈逆掩叠置,构成空间上“下生上储、断裂输导、近源成藏”新模式。下盘二叠系烃源岩生成的天然气,沿边界逆冲断裂向上倾方向运移至圈闭中成藏,具较好的生储盖配置条件。

(3) 恰探1井的突破证实了二叠系厚层烃源岩与晚石炭世一早二叠世碳酸盐岩储层在山前多排逆掩叠置带可形成近源生储盖组合,配置优越。重新落实埋深小于8000m有利勘探面积近7000×10⁴km²,发现圈闭显示7个,总面积为358.5×10⁴km²,预测天然气资源量2045×10⁸m³。

参考文献

- [1] 何登发,李洪辉.塔西南拗陷油气勘探历程与对策[J].勘探家,1998,3(1):37-42.
He Dengfa, Li Honghui. History and counter measures of petroleum exploration in Tarim Southwest Depression[J]. Petroleum Explorationist, 1998,3(1):37-42.
- [2] 胡剑风,郑多明,胡轩,等.塔西南前陆盆地战略接替区天然气勘探的突破[J].中国石油勘探,2002,7(1):74-78.
Hu Jianfeng, Zheng Duoming, Hu Xuan, et al. Breakthrough of gas exploration in southwest Tarim Foreland Basin: the strategic replacement area of CNPC and TOC[J]. China Petroleum Exploration, 2002,7(1):74-78.
- [3] 张光亚,薛良清.中国中西部前陆盆地油气分布与勘探方向[J].石油勘探与开发,2002,29(1):1-5.
Zhang Guangya, Xue Liangqing. Hydrocarbon occurrences and

- exploration suggestions in the forland basins of central western China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2002,29(1): 1-5.
- [4] 金之钧, 吕修祥. 塔西南前陆盆地油气资源与勘探对策[J]. *石油与天然气地质*, 2000,21(2):110-113.
Jin Zhijun, Lv Xiuxiang. Hydrocarbon resources and exploration strategy of foreland basins in southwest Tarim Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2000,21(2):110-113.
- [5] 何登发, 李德生, 何金有, 等. 塔里木盆地库车坳陷和塔西南坳陷油气地质特征类比及勘探启示[J]. *石油学报*, 2013,34(2):201-218.
He Dengfa, Li Desheng, He Jinyou, *et al.* Comparison in petroleum geology between Kuqa Depression and Southwest Depression in Tarim Basin and its exploration significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2013,34(2):201-218.
- [6] 赵文智, 贾爱林, 王坤, 等. 中国天然气“十三五”勘探开发理论技术进展与前景展望[J]. *石油科技论坛*, 2021,40(3):11-23.
Zhao Wenzhi, Jia Ailin, Wang Kun, *et al.* Theoretical and technological progress and development prospect of China's natural gas exploration and development in the 13th Five-year Plan Period[J]. *Petroleum Science and Technology Forum*, 2021, 40(3):11-23.
- [7] 李剑, 曾旭, 田继先, 等. 中国陆上大气田成藏主控因素及勘探方向[J]. *中国石油勘探*, 2021,26(6):1-20.
Li Jian, Zeng Xu, Tian Jixian, *et al.* Main controlling factors of gas accumulation and exploration target of large onshore gas fields in China[J]. *China Petroleum Exploration*, 2021,26(6): 1-20.
- [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 Kelasu structural belt, Tarim Basin[J]. *China Petroleum Exploration*, 2022,27(5):106-115.
- [9] 冯子辉, 邵红梅, 刘云苗, 等. 塔里木盆地古城地区奥陶系成岩流体与碳酸盐岩储层形成关系研究[J]. *中国石油勘探*, 2022,27(4):47-60.
Feng Zihui, Shao Hongmei, Liu Yunmiao, *et al.* Study on the relationship between the Ordovician diagenetic fluid and carbonate reservoir development in Gucheng area, Tarim Basin[J]. *China Petroleum Exploration*, 2022,27(4):47-60.
- [10] 王招明, 赵孟军, 张水昌, 等. 塔里木盆地西部阿克莫木气田形成初探[J]. *地质科学*, 2005,40(2):237-247.
Wang Zhaoming, Zhao Mengjun, Zhang Shuichang, *et al.* A preliminary study on formation of Akemo Gasfield in the Kashi Sag, Tarim Basin[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2005,40(2): 237-247.
- [11] 杨海军, 王步清, 杨芝林, 等. 塔里木盆地西南坳陷柯东构造建模与油气勘探[J]. *地质科学*, 2011,46(2):456-465.
Yang Haijun, Wang Buqing, Yang Zhilin, *et al.* Structure modeling and hydrocarbon exploration of Kedong structural belt in southwestern Tarim Basin[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2011,46(2):456-465.
- [12] 杜治利, 曾昌民, 邱海峻, 等. 塔西南叶城凹陷二叠系两套烃源岩特征及柯东1井油源分析[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2016, 46(3):651-660.
Du Zhili, Zeng Changmin, Qiu Haijun, *et al.* Key formations of the Permian hydrocarbon source rocks and oil-source correlation of well KD1 in Yecheng Depression of southwestern Tarim Basin[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2016,46(3):651-660.
- [13] 孟苗苗, 康志宏, 刘俊杰, 等. 塔西南坳陷叶城—和田地区二叠系沉积特征研究[J]. *重庆科技学院学报(自然科学版)*, 2016,46(3):651-660.
Meng Miaomia, Kang Zhihong, Liu Junjie, *et al.* Research on the sedimentary characteristics of Permian in Yecheng-Hetian area of southwest Tarim Basin[J]. *Journal of Chongqing University of Science and Technology(Natural Sciences Edition)*, 2016,46(3):651-660.
- [14] 程晓敢, 黄智斌, 陈汉林, 等. 西昆仑山前冲断带断裂特征及构造单元划分[J]. *岩石学报*, 2012,28(2):2591-2601.
Cheng Xiaogan, Huang Zhibin, Chen Hanlin, *et al.* Fault characteristics and division of tectonic units of the thrust belt in the front of the West Kunlun Mountains[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012,28(8):2591-2601.
- [15] 曲国胜, 李亦纲, 李岩峰, 等. 塔里木盆地西南前陆构造分段及其成因[J]. *中国科学D辑:地质科学*, 2005,35(3):193-202.
Qu Guosheng, Li Yigang, Li Yanfeng, *et al.* The structural segmentation and origin in foreland sag in southwest Tarim Basin[J]. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2005,35(3): 193-202.
- [16] 贾承造. 中国中西部前陆冲断带构造特征与天然气富集规律[J]. *石油勘探与开发*, 2005,32(4):9-15.
Jia Chengzao. Foreland thrust fold belt features and gas accumulation in midwest China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2005,32(4):9-15.
- [17] 赵文智, 张光亚. 被动大陆边缘演化与油气地质:以塔里木盆地西南地区为例[M]. 北京:石油工业出版社, 2007:1-155.
Zhao Wenzhi, Zhang Guangya. Petroleum geology and evolution of passive continental margin-example of southwest Tarim Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2007:1-155.
- [18] 杨威, 王清华, 王媛, 等. 塔里木盆地玛扎塔格构造带石炭系层序地层和储集层特征[J]. *新疆石油地质*, 1999,20(3):235-238.
Yang Wei, Wang Qinghua, Wang Yuan, *et al.* Sequence stratigraphy and reservoir characteristics of Carboniferous in Mazartag structural belt, Tarim Basin[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 1999,20(3):235-238.
- [19] 赵孟军, 王招明, 宋岩, 等. 塔里木盆地喀什凹陷油气来源及其成藏过程[J]. *石油勘探与开发*, 2005,32(2):50-54.
Zhao Mengjun, Wang Zhaoming, Song Yan, *et al.* Source and accumulation of oil and gas in Kashi Sag, Tarim Basin, NW China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2005,32(2): 50-54.
- [20] 胡健, 王铁冠, 陈建平, 等. 塔西南坳陷周缘原油地球化学特征与成因类型[J]. *石油学报*, 2015,36(10):1221-1233.
Hu Jian, Wang Tieguan, Chen Jianping, *et al.* Geochemical characteristics and origin patterns of oils in periphery of southwestern Tarim Basin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2015,36(10): 1221-1233.
- [21] 曾昌民, 张亮, 雷刚林, 等. 塔西南坳陷烃源岩生标特征对比及沉积环境指示意义[J]. *新疆地质*, 2011,29(3):319-323.
Zeng Changmin, Zhang Liang, Lei Ganglin, *et al.* Biomarkers characteristics of source rocks of south-west Tarim Depression and its signification for sedimentary environment[J]. *Xinjiang Geology*, 2011,29(3):319-323.
- [22] 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.
- [23] 赵文智, 沈安江, 潘文庆, 等. 碳酸盐岩岩溶储层类型研究及对勘探的指导意义:以塔里木盆地岩溶储层为例[J]. *岩石学报*, 2013,29(9): 3213-3222.
Zhao Wenzhi, Shen Anjiang, Pan Wenqing, *et al.* A research on carbonate karst reservoirs classification and its implication hydrocarbon exploration: cases studies from Tarim Basin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2013,29(9): 3213-3222.
- [24] 顾家裕. 沉积相与油气[M]. 北京:石油工业出版社, 1994:8-26.
Gu Jiayu. Sedimentary facies and oil and gas[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994:8-26.