

淮南缘四棵树凹陷下组合沉积体系新认识

The New Understanding of Lower Assemblage Depositional System in Sikesu Sag, Southern Margin of the Junggar

刘亚会^{1,2} 陈鹏² 邓勇² 陈佳² 周志松²

Yahui Liu^{1,2} Peng Chen² Yong Deng² Jia Chen² Zhisong Zhou²

1. 西安石油大学地球科学与工程学院 中国·陕西 西安 710065

2. 中国石油东方地球物理公司研究院乌鲁木齐分院 中国·新疆 乌鲁木齐 830016

1. School of Geoscience and Engineering, Xi'an Shiyu University, Xi'an, Shaanxi, 710065, China

2. Urumqi Branch, BGP Inc, CNPC, Urumqi, Xinjiang, 830016, China

摘要: 准噶尔盆地南缘四棵树凹陷白垩系清水河组底部砂岩储集层获得了日产千方的高产油流, 证明该套储集层是一套优质储集层, 但后期多口井钻证实该套储层横向变化快, 急需落实凹陷区该套储层宏观分布及下步勘探方向。论文旨在通过沉积演化、沉积古地貌、沉积储层特征分析, 明确四棵树凹陷下组合沉积体系特征, 有效指导四棵树凹陷下组合整体勘探部署。研究表明, 四棵树凹陷经历了晚海西—印支期、燕山期、喜山期运动, 演化过程为: 晚二叠纪湖相—三叠纪扇三角洲—侏罗纪辫状河三角洲—早白垩纪扇三角洲。侏罗系八道湾组、头屯河组沉积期发育南、北两大物源体系, 以辫状河三角洲为主, 白垩系清水河组主要发育南物源体系, 以扇三角洲沉积为主; 宏观发育3类有效储层, 一是辫状河三角洲前缘的辫状河道砂体, 二是三角洲平原河道侧翼沉积砂体, 三是扇三角洲前缘砂体。

Abstract: The sandstone reservoir at the bottom of the Cretaceous Qingshuihe Formation in the Sikesu Sag on the southern margin of the Junggar Basin has obtained high-yield oil flow over 1000m³/d, which proves that this sandstone reservoir is a high-quality one. However, it has been proved by several drillings that the set of reservoirs changes rapidly in lateral direction, so it is urgent to determine the macroscopic distribution and the next step of exploration here. This paper aims to clarify the sedimentary system characteristics of the lower assemblage and effectively guide the exploration and deployment of the lower assemblage in Sikesu Sag by analyzing sedimentary evolution, sedimentary paleo-morphology, sedimentary reservoir characteristics. The study shows that Sikesu sag experienced late Hercynian—Indosinian, Yanshanian and Himalayan movement, and the evolution process is: Late Permian lacustrine—Triassic fan delta—Jurassic braided river delta—Early Cretaceous fan delta. The Jurassic Badaowan Formation and Toutunhe Formation developed two major provenance systems in the north and south, mainly braided river delta, and the Cretaceous Qingshuihe Formation mainly developed south provenance system, which is fan delta deposition. There are three types of effective reservoirs: one is braided channel sand body of braided delta front, the other is channel flank sand body of delta plain, and the third is fan delta front sand body.

关键词: 四棵树凹陷; 沉积演化; 沉积储层; 清水河组; 头屯河组; 八道湾组

Keywords: sikesu sag; sedimentary evolution; sedimentary reservoir; qingshuihe formation; toutunhe formation; badaowan formation

DOI: 10.12346/se.v4i1.6408

【作者简介】刘亚会(1990-), 男, 中国河北保定人, 本科, 工程师, 从事地震解释及综合分析研究。

1 引言

半个多世纪以来,天山北麓的淮南前陆冲断带因丰富的地面油气苗、成排成带的构造及多套烃源层而被几代石油人关注与看好^[1]。四棵树凹陷是准噶尔盆地南缘最具勘探潜力且最早的油气勘探地区之一,其勘探始于20世纪30年代,前期研究主要针对中、上组合,主要为构造型油藏,截至目前已发现多个油气田及含油气构造,如独山子油田、卡因迪克油田以及西湖背斜、高泉背斜等含油气构造,体现了该区具备巨大的勘探潜力^[2]。

2008年后受地震资料及地质认识的限制,未获得重大突破,直至2019年,位于四棵树凹陷高泉背斜带的GT1井获得日产千方的高产油气流,打开了南缘勘探新局面。但后续部署的几口井均未获得突破,其中,G103井在下组合目的层未钻遇有效储层,认为主要问题在于沉积体系及有利储层发育区无法准确确定。沉积体系的不明确,将会严重影响研究沉积相带的确定、砂体展布特征等,因此沉积体系的研究是重要基础。

论文通过钻井、录井、测井、地震、野外地质露头等多种信息,结合沉积学等理论知识,开展了准噶尔盆地南缘四棵树凹陷下组合沉积体系研究,对沉积相带平面展布特征有了新的认识,为四棵树凹陷的进一步勘探目标优选将提供依据。

2 研究区概况

四棵树凹陷位于准噶尔盆地南缘冲断带西段,处于北天山构造带与西准噶尔构造带交汇处,四棵树凹陷西部、南部为依林黑比尔根山,北部为车排子凸起,属于两凸加一凹的构造格局(见图1)。

四棵树凹陷先后经历了晚海西、燕山、喜山期运动,喜马拉雅末期逆冲推覆构造运动对其影响较大^[3]。受多期应力叠加影响,发育“早期逆冲、中期压扭、晚期推覆”三期构造。通过对各期断裂分析,明确了其控制作用:海西—印支期受挤压作用力,逆冲断裂控制了四棵树地区凹陷格局;中、晚燕山期受压扭作用,控制一系列古构造的形成,为油气的纵向运移及聚集提供了良好的通道,是早期控圈控藏的关键因素;喜山期主要以形成推覆构造为主,对上组合改造作用强,对下组合改造作用弱,保存条件好。

四棵树凹陷整体发育多套含油气组合,自上而下可分为上、中、下3个成藏组合^[4],其中,上组合为新近系塔西河组和沙湾组,中组合为古近系安集海河组和紫泥泉子组,下组合为白垩系吐谷鲁群及以下地层,以侏罗系地层为主。下

组合主力勘探层系主要发育白垩系清水河组、侏罗系头屯河组、八道湾组3套规模有效储层,其中白垩系上部高压泥岩是一套重要的区域性盖层,本次研究的主要目的层为此3套层系。

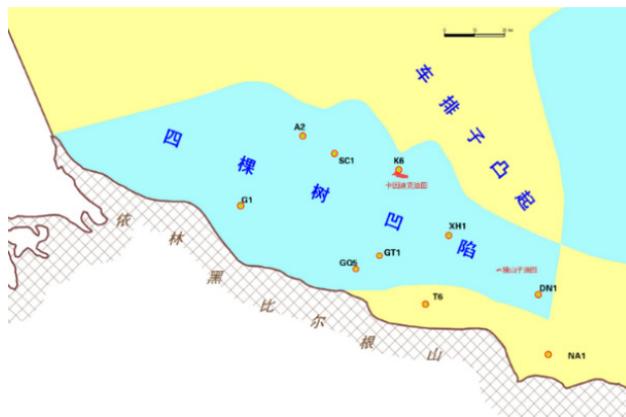


图1 准噶尔盆地四棵树凹陷构造位置图

3 沉积演化特征

四棵树凹陷总共经历了晚海西—印支期、燕山期、喜山期三期构造运动,其中喜山末期构造运动影响较大^[5]。

晚二叠世末期,发生较强烈的晚海西期构造运动,在不断的挤压变形过程中,形成低幅度褶皱及低角度断裂。此时高泉、卡因迪克构造向上抬升幅度较低。随着整个盆地的沉积范围不断扩大,除车排子凸起以西及托斯台地区仍为隆起外,其他地区具备填平,连成一片。此时,四棵树凹陷二叠系整体表现为—小型凹陷背景,发育南物源体系,表现为湖泊相沉积,预计发育水下扇。

三叠纪早中期,南缘冲断带整体以震荡型沉积为特征,晚期湖盆范围整体扩大。在二叠系风化剥蚀作用的基础上,车排子凸起之上遭受剥蚀,独南地区及托斯台地区见三叠系超覆于石炭系之上。整体来看,四棵树凹陷三叠纪整体以扇三角洲沉积为主,主要发育南、北物源体系,以南物源的北天山为主要物源供给,南、北发育多个扇体。

整个侏罗纪时期,沉积范围达到了最广、厚度达到最大,是准噶尔盆地发展的全盛时期,沉积厚度较大,有机质丰富,八道湾组成为凹陷内重要的一套烃源岩。中期,湖盆稍微变小,北端车排子凸起之上地层遭受剥蚀,地层尖灭线较早侏罗靠南,沉积中心同样成北西—南东向展布。末期湖盆萎缩严重,沉积中心迅速向东南退却,仅在四棵树凹陷东南部发育,受气候影响,此时主要发育曲流河三角洲沉积综合分析,侏罗系整体表现为辫状河三角洲沉积相,发育多个扇体。

白垩纪早期,整个湖盆迅速扩大,表现为填平补齐阶段。

北天山局部发生隆升, 凹陷收缩, 剥蚀夷平作用加大, 剥蚀区表现为高度准平原化特征, 同时, 四棵树地区整体向北西、南西方向抬升, 呈现北西、南西薄, 东部厚的特点。该沉积期三角洲沉积特征明显, 且平原相发育。

4 沉积储层特征

四棵树凹陷处于南缘山前冲断带, 断裂异常发育, 凹陷内构造发育, 圈闭类型以构造性圈闭为主, 但从已钻井分析, XH1、G103 井在白垩系清水河组未见有利砂体发育, 因此在构造圈闭落实的基础上, 储层特征分析同样重要。据已收集的资料分析, 四棵树凹陷下组合均有可作为储集层的优质砂岩分布, 具有纵向上分布层位多、横向变化大、非均质性强的特点^[6]。

4.1 侏罗系八道湾组

该层沉积厚度较大, 已有钻井及南部露头区证实了侏罗系八道湾组发育多套厚储层, 岩性主要为灰色含砾砂岩、粗砂岩、泥岩, 单砂体厚度 5~20m, 表现为互层状。取芯可见裂缝发育, 说明该时期压实作用强, 致使砂体内部刚性颗粒发生破裂, 砂体内部粒间溶孔、界面孔、粒内孔发育, 储层物性较好, 孔隙度为 5%~15.5%, 渗透率为 0.05~33.9mD, 属于低孔、低渗型储层(见图 2)。

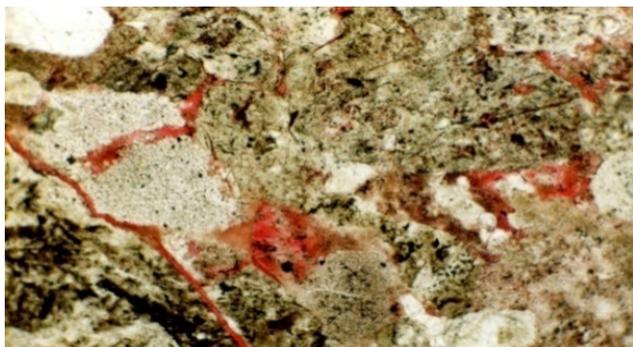


图 2 A2 井镜下薄片

4.2 侏罗系头屯河组

四棵树凹陷北部钻井揭示艾卡断裂带上、下盘侏罗系头屯河组规模储层。沉积厚度约 60~230m, 发育块状砂砾岩, 单砂体厚度大, 砂体厚度可占组厚 90% 以上; 以灰色、褐灰色块状砂砾岩及含砾砂岩为主, 夹薄层泥岩及砂质泥岩, 发育较稳定。卡因迪克背斜、西湖背斜、独山子背斜均钻揭头屯河组, K6 井储层物性较好; 埋深相对较大的 XH1 井钻遇厚 200m 左右的砂体, 岩性以粉~细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩为主, 呈连续厚层沉积。GT1 井钻揭头屯河组规模储层, 厚度达 90m, 岩性较粗, 主要为含砾砂岩, 油气显示

活跃。GH001 发育泥质粉砂岩, 剪切缝、粒间孔较为发育, 缝内未充填, 孔隙度为 5.0%~6.2%, 渗透率为 0.032~0.046mD (见图 3)。

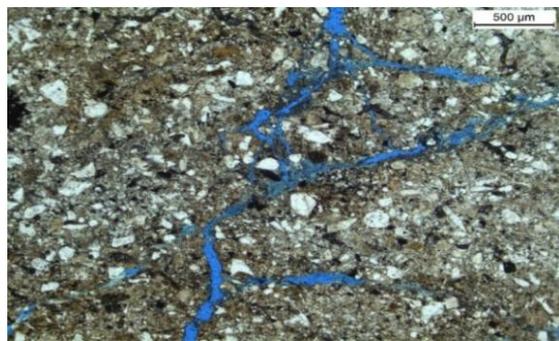


图 3 GH001 井镜下薄片

4.3 白垩系清水河组

底部发育一套底砾岩, 横向厚度稳定, 储层物性差异较大。SC1、K6 井主要为低孔低渗较差储集层; XH1 井清水河组储层几乎不发育, 整体以泥质粉砂岩—泥岩互层为主, 底部发育一套 4m 含砾细砂岩, 物性差, 属于低孔、特低渗的差储集层; GT1 井清水河组底部出油段砂体为中~高孔、中渗较好储集层; GH001 井底部发育岩屑砂质砾岩, 磨圆中~差, 分选差, 钙质胶结程度较低, 剩余粒间孔为主, 发育少量粒间孔, 砂质主要成分为石英, 抗压抗改造能力较强, 能有效支撑砾石间原始孔隙, 提供联通条件; 砾岩之上发育砂屑灰岩, 以颗粒悬浮接触一点接触为主, 粒间孔不发育, 可作为致密顶板(见图 4)。

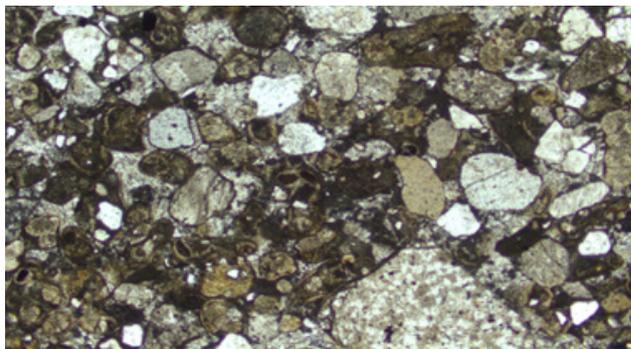


图 4 GH001 井镜下薄片

5 沉积相特征

前人研究认为 K_{1q} 及 J_2t 广泛发育规模有效砂体, 且 K_{1q} 发育南北两支物源, 凹陷主体部位以湖相为主, 以东西走向的条带状将南北两大物源分开; J_2t 发育北物源, 北部以前缘相为主, 南部主要发育滨浅湖相, 砂体有利发育区主要位于凹陷北部。在此认识的基础上, 新部署的 G103

等并未钻遇有效储层，通过分析认为，储集层预测准确率偏低的主要原因是：下组合沉积相认识不准，地质模式指导作用不足。最有利的储层主要发育在扇三角洲及辫状河三角洲前缘亚相，平原亚相的局部地区同样也会发育优质储层。

论文通过野外露头、钻井取芯、测井曲线等方面观察与分析，对下组合侏罗系八道湾组、头屯河组、白垩系清水河组的沉积相特征展开分析，并落实各层沉积相特征。

5.1 侏罗系八道湾组

从地质露头可以看出，以灰色、浅灰色粗砂岩、砂砾岩为主，反映了浅水还原沉积环境。八道湾组整体沉积厚度较大，由东向西减薄，但粒度逐渐变粗，纵向上一般发育三套砂层组，底部沉积厚套灰色砂岩，向上粒度减小，具有下粗上细的正韵律。槽状交错层理较为发育，该沉积构造主要形成于水动力较强，受河道冲刷作用而形成，纹面上的岩性表现为“厚砂包薄泥”的特征（见图 5）。

曲线特征方面，八一段的自然伽马曲线总体表现为齿状，说明水体环境相对稳定，水动力条件弱，距离物源相对较远，沉积物供给较少，该层段泥岩有利于形成烃源岩；八二段的自然伽马曲线表现为锯齿状与钟形的组合形态，说明沉积期水动力强度较大，供给较充足；八三段自然伽马曲线主要表现为箱型，表明沉积期处于高能水体动荡的沉积环境，物源供给充足。

八道湾组在凹陷主体沉积厚度较大，最后可达 750 m。四棵树凹陷整体成北西走向的长条状展布，沉积中心位于西

湖地区，在高泉地区、固尔图地区、托斯台地区、卡因迪克地区等形成局部隆起。共发育南、北两支物源体系，伴有多支河道发育，在西湖地区汇聚。综合分析，认为侏罗系八道湾组发育辫状河三角洲相（见图 5）。

5.2 侏罗系头屯河组

从四棵树河地质露头可以看出，主要为褐灰色泥岩、粉细砂岩，反映了水上氧化沉积环境。从东阿尔钦沟地质露头来看，以浅灰色中砂岩、粗砂岩为主，反映了浅水还原沉积环境，其中又发育三套砂层组，厚度 15m-25m，每套砂层组上均覆盖一套泥岩，可作为良好的盖层，整体表现为自下而上由粗变细正韵律特征（见图 6a, b）。

曲线特征上，头一段的自然伽马曲线总体表现为锯齿状，沉积环境相对动荡，水流能量较强但不稳定，且强弱频繁交替；头二段的自然伽马曲线主要表现为锯齿状，底部表现为齿状箱型，局部有指状，说明该沉积期处于陆上、高能水体动荡的沉积环境，物源供给充足；头三段自然伽马曲线表现为高幅度锯齿形，反映该时期沉积相对稳定，源供给充足。高泉地区处于近物源处，物源供给充足，整体为水上氧化还原环境，具有典型的河流“二元结构”，发育辫状河三角洲平原亚相。根据 XH1 井单井分析，头屯河组一段和二段自然伽马曲线表现为箱型与锯齿形组合，曲线幅值变化较小，反映了沉积过程中物源供给充足、水动力条件逐渐变弱的沉积特征。头三段自然伽马曲线表现为锯齿状形态，幅值变化较小，反映了砂泥互层的沉积过程，整体水动力条件较弱，物源供给不足。

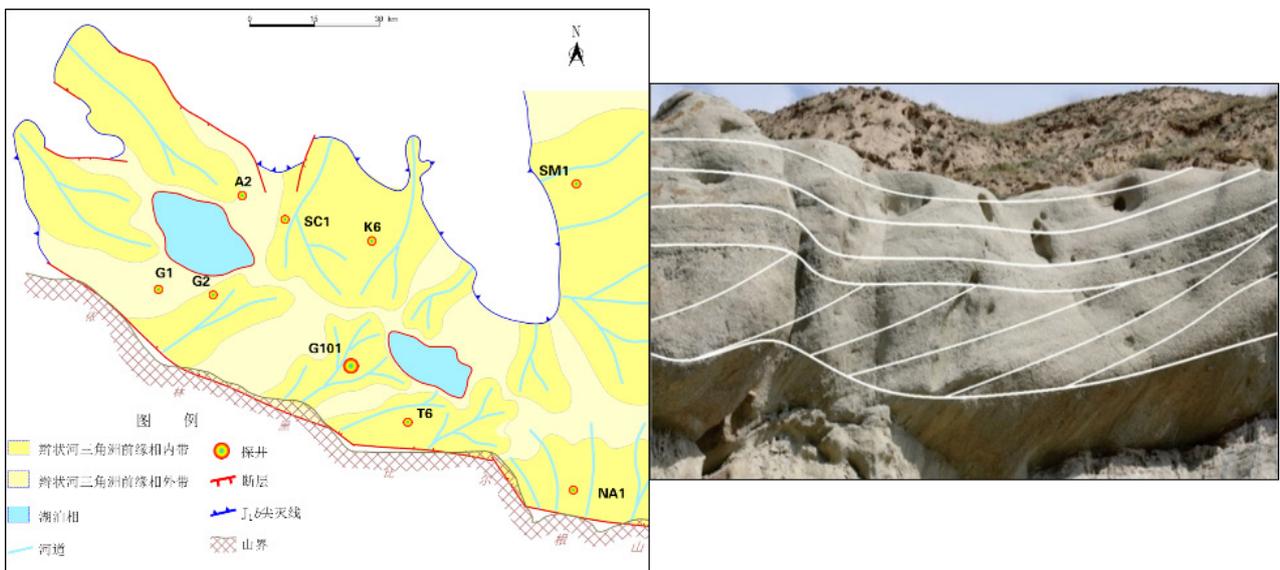


图 5 四棵树凹陷下组合侏罗系八道湾组沉积相图（左）及地质露头剖面（右）

侏罗系头屯河组继承早侏罗纪构造及沉积体系，高泉低凸带持续隆升，范围扩大至固尔图地区，托斯台凸起持续隆升，沉积中心向东南方向迁移至独山子以南地区，厚度较大，最厚可达 500m。凹陷仍为北西走向的长条状展布，宽度变窄。共发育南、北两支物源体系，伴有多支河道发育，在西湖地区汇聚。综合分析，认为侏罗系头屯河组整体发育辫状河沉积相，高泉、固尔图地区发育平原亚相，向北发育前缘亚相（见图 6）。

5.3 白垩系清水河组

从四棵树河地质露头可以看出，以红褐色泥岩、砂砾岩为主，反映了水上氧化沉积环境。从阿尔钦沟沉积物颜色来看，以灰色为主，反映了浅水还原沉积环境。两个地区均发育自下而上由粗变细的正韵律特征，向下砾石比明显增加，同时发育不明显的平行层理或交错层理。

曲线特征方面，自然伽马曲线下部表现为微齿状箱型，表明早期的沉积物内部结构较均匀，岩性单一且粒度较粗，反映了物源供给充足，水动力强且稳定。砾岩之上为一套厚约 5~15m 的钙质砂岩，表明该地区早期为分流主河道，因后期改道迁移被废弃，废弃后河床水体稳定，长期处于浅水

蒸发环境，故形成钙质胶结产物，曲线特征表现为微齿状箱型，表明沉积环境稳定。上部曲线表现为锯齿状特征，反映了砂泥互层状沉积特征，同时也表明该时期水动力条件不稳定。高泉地区钻井自然伽马整体表现为微齿状箱型—锯齿状组合形态，为正韵律沉积特征，处于水下还原沉积环境，物源供给量由强变弱。西湖地区自然伽马曲线下部表现为指状，曲线幅度高，表明物源少而沉积环境能量突然变强，向上整体表现为锯齿状，反映了该时期沉积环境不稳定，物源供给不充沛。自下而上反映了沉积环境由强到弱，物源供给由强到弱的特征，该地区底砂岩之上不发育钙质沉积物，处于水下还原环境。

白垩系清水河组沉积期为填平补齐阶段，凹陷整体接受沉积，受西部山体抬升影响，整体表现为西高东低。白垩纪与侏罗纪时期展布特征相似，呈北西走向的长条状展布，沉积中心向北迁移，至独山子以东地区。受北天山抬升影响，高泉地区以西未发生沉积。综合分析，认为白垩系清水河组发育扇三角洲沉积相，山前带以平原亚相为主，向凹陷主体方向为前缘亚相（见图 7）。

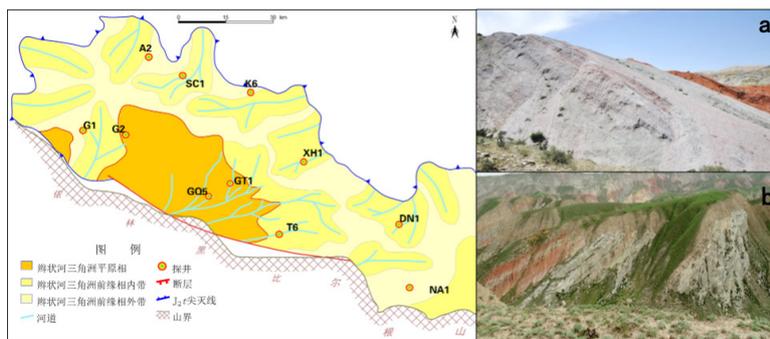


图 6 四棵树凹陷下组合侏罗系头屯河组沉积相图（左）及地质露头剖面（右）
（a：四棵树河地质露头剖面；b：东阿尔钦沟地质露头剖面）

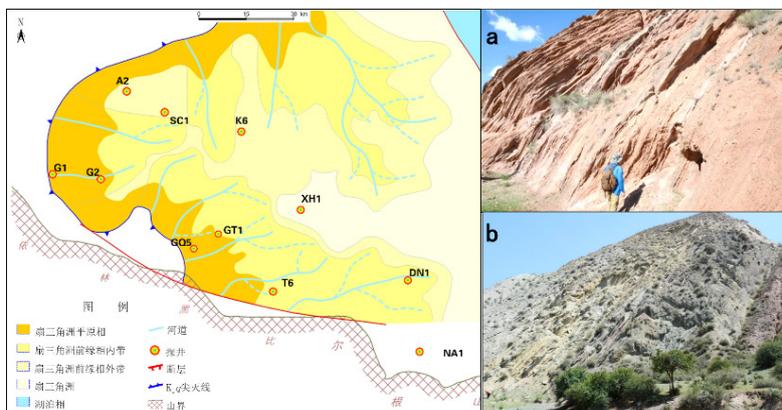


图 7 四棵树凹陷下组合白垩系清水河组沉积相图（左）及地质露头剖面（右）
（a：四棵树河地质露头剖面；b：阿尔钦沟地质露头剖面）

（下转第 108 页）

$$\Delta H = \frac{L - 3\sqrt{L}}{L}$$

4 结论

4.1 主要研究结论

本项目研发出各种管线最佳收发距探测法,并根据误差表进行分析比对,得出在最佳收发距之间的修正参数:

$$H_{\alpha} = \frac{L-3\sqrt{L}}{L}; \text{实际埋深} = H_{\alpha} + \text{探测埋深}.$$

4.2 创新点

①研发出种管线最佳收发距探测法。

②根据误差表进行分析比对,得出在最佳收发距之间的修正参数:

$$H_{\alpha} = \frac{L-3\sqrt{L}}{L}$$

实际埋深 = H_{α} + 探测埋深

4.3 进一步研究建议

由于种种条件限制,项目虽取得了一定的研究成果,但仍有一些问题值得深入研究,还需在以下方面做进一步的深化:

①本项目研发的最佳收发距探测法,还需更多的项目进

一步完善。

②随着探测方法及探测仪器的发展,可对探测平面位置修正参数进一步研究。

5 结语

本项目严格按照技术设计书,进行试验,数据采集、分析,并得出结论,验证结论。针对地下管线探测效率低、精度差的问题,研发一种提高效率且能最大限度地改善精度的方法,可显著改善工作效率低、精度差的问题,降低生产成本,保障成果的精度对于处理管线爆裂、停水停电等问题能够提供准确的数据,快速准确的处理,减少人民群众生活的困扰,具有显著的经济社会效益。研发出新的探测方法及精度修正参数,为后续完善研究打下了坚实的基础。

参考文献

- [1] 刘子嘉,薛晓轩.城市地下管网物探方法分析与验证[J].测绘与空间地理信息,2015,38(12):12.
- [2] 陈谦,梁延广,王争明,等.提高管线探测水平分辨率的技术方法[J].中国煤炭地质,2008,20(9):3-5.
- [3] 张汉春,莫国军.特深地下管线的电磁场特性分析及探测[J].地球物理学进展,2006,21(4):4.

(上接第94页)

6 结论

①四棵树凹陷总共经历了晚海西一印支期、燕山期、喜山期三期构造运动,其中喜山末期构造运动影响较大。受盆地整体升降过程影响,整体沉积演化过程表现为:晚二叠纪湖相—三叠纪扇三角洲—侏罗纪辫状河三角洲—早白垩纪扇三角洲。

②准噶尔盆地南缘四棵树凹陷下组合侏罗系八道湾组、头屯河组发育辫状河三角洲沉积体系,其中八道湾组发育南、北两大物源体系,主要为辫状河三角洲前缘亚相;头屯河组发育南、北两大物源体系,南部山前高泉地区、固尔图地区发育辫状河三角洲平原亚相,向北发育辫状河三角洲前缘亚相;白垩系清水河组发育扇三角洲沉积体系,以南物源为主,山前带主要发育扇三角洲平原亚相,远端斜坡区发育扇三角洲前缘亚相。

参考文献

- [1] 陈新发,支东明,王小军,等.准噶尔盆地典型油气田油气藏(南缘分册)[M].北京:石油工业出版社,2018.
- [2] 何海清,支东明,雷德文,等.准噶尔盆地南缘高泉背斜战略突破与下组合勘探领域评价[J].中国石油勘探,2019,24(1):137-146.
- [3] 邵雨,李学义,杨迪生,等.准噶尔盆地南缘新生代构造特征及演化[M].北京:科学出版社,2016.
- [4] 李学义,邵雨,李天明.准噶尔盆地南缘三个油气成藏组合研究[J].石油勘探与开发,2003,30(6):32-34.
- [5] 方世虎,郭召杰,宋岩,等.准噶尔盆地南缘侏罗纪沉积相演化与盆地格局[J].古地理学报,2005,7(3):347-356.
- [6] 鲍志东,刘凌,张冬玲,等.准噶尔盆地侏罗系沉积体系纲要[J].沉积学报,2005,23(2):194-202.