

文章编号:1673-9469(2024)03-0099-09

DOI:10.3969/j.issn.1673-9469.2024.03.014

沉积模式约束的蚀源区砂砾岩分布预测研究

肖大坤¹,王巍²,范洪军¹,葛尊增¹,高云峰¹,罗江华¹

(1. 中海油研究总院有限责任公司,北京 100028;2. 中海石油(中国)有限公司勘探开发部,北京 100010)

摘要: 古潜山油气藏表面普遍发育一套准原地沉积成因的砂砾岩储层,物性好、产能高但展布规律复杂,亟需开展储层分布预测,支持潜山油气藏开发。该文以渤海A油田太古界潜山为例,采用“将今论古”思路,建立蚀源区砂砾岩沉积原型模式。基于微古地貌恢复,充分利用三维地震资料的低频响应特征,实现了古潜山蚀源区砂砾岩储层分布预测,取得以下认识:(1)蚀源区砂砾岩沉积受局部地形地貌控制,在山地区、山间洼地、山间沟谷形成不同沉积组合模式;(2)在印模法基础上,采用层面斜率属性差异放大技术实现了微古地貌精细刻画,基于低频地震数据开展地震属性分析,利用属性分布与微地貌单元的对应关系,进一步判断储层分布预测结果的合理性。A油田研究结果显示,其蚀源区砂砾岩分布符合山地区发育的“山间侵蚀河道-山前冲积扇”组合模式,山间沟谷内砂砾岩呈连续条带状,山峰山脊区砂砾岩发育程度低、呈不连续斑块状分布,山前斜坡地貌单元砂砾岩呈连片分布。

关键词: 蚀源区;砂砾岩;原型沉积模式;古地貌;储层预测

中图分类号:P512.31

文献标识码:A

Prediction of Sand and Conglomerate Distribution in Erosion Source Areas Constrained by Sedimentary Patterns

XIAO Dakun¹, WANG Wei², FAN Hongjun¹, GE Zunzeng¹, GAO Yunfeng¹, LUO Jianghua¹

(1. CNOOC Research Institute Co., Ltd., Beijing 100028, China; 2. Department of Development & Production, CNOOC, Beijing 100010, China)

Abstract: A set of sand and gravel reservoirs with quasi in-situ sedimentary genesis are commonly developed on the surface of ancient buried mountain oil and gas reservoirs, which have good physical properties and high productivity but complex distribution patterns. It is urgent to carry out reservoir distribution prediction to support the development of buried mountain oil and gas reservoirs. This article takes the Archean buried hill in Bohai A oilfield as an example and adopts the approach of “discussing the present and the past” to establish a prototype model of sand and gravel sedimentation in the source area. Based on the restoration of micro ancient landforms and fully utilizing the low-frequency response characteristics of 3D seismic data, the distribution prediction of sand and gravel reservoirs in the ancient buried hill erosion source area has been achieved. The following understanding has been obtained: (1) The sedimentation of sand and gravel in the erosion source area is controlled by local terrain and landforms, forming different sedimentary combination patterns in mountain areas, inter mountain depressions, and inter mountain valleys; (2) On the basis of the impression method, the fine characterization of micro paleogeomorphology is achieved using the technique of amplifying the difference in layer slope attributes. Based on the low-frequency seismic data, seismic attribute analysis is carried out, and the corresponding relationship between attribute distribution and micro geomorphic units is used to further judge the rationality of reservoir distribution prediction results. The research results of Oilfield A show

收稿日期:2023-07-20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(U23B2090);中国海油集团公司十四五重大科技项目(KJGG2022-0700);中海石油(中国)有限公司科研课题(YXKY-2019-ZY-05)

作者简介:肖大坤(1988-),男,山东冠县人,硕士,高级工程师,主要从事储层地质、油藏描述及地质建模方面的研究。

that the distribution of sand and gravel in its erosion source area conforms to the “mountain eroded river front alluvial fan” combination model developed in mountainous areas. The sand and gravel in the mountain valleys are in a continuous strip shape, while the sand and gravel in the peak and ridge areas are poorly developed and distributed in discontinuous patches. The sand and gravel in the geomorphic units of the mountain slope are distributed in continuous patches.

Key words: erosion source area; sandy conglomerate; prototype sedimentary mode; paleogeomorphology; reservoir prediction

对于大部分火山岩或变质岩潜山油气藏来说,潜山顶部强风化带表面普遍发育一套具有蚀源区准原地沉积特征的砂砾岩储层,开发实践表明,与潜山内强非均质性的裂缝型储层相比,该套砂砾岩储集层物性较好、非均质性相对较弱,可构成优质产层,随着越来越多潜山油气田投入勘探开发,山地蚀源区的沉积特征逐渐受到关注^[1-4]。

广义的山地蚀源区(简称蚀源区)包括山峰、洼地、坡地、谷地等各种地形,沉积动力机制以粗粒碎屑物质重力流为主,由于地形地貌多样,受地表水侵蚀作用和堆积状况等多因素综合影响,导致砂砾岩沉积模式及展布规律十分复杂,国内外大部分针对蚀源区的研究都限于沉积原理和模式特征层面,未能深入到储层分布预测和表征;为厘定山地蚀源区的沉积类型及相关概念,钟大康教授等国内学者开展了一系列原型研究^[5-6],将蚀源区沉积物划分为残积物、坡积物、坠(崩/塌)积物、山间河流沉积物、洪积物、冲积物、滑坡物、滑塌物、泥石流沉积物共9种类型;国外专家学者主要围绕地质灾害防治,对冲积物、残积物、坡积物、坠积物等类型的动力学机制有深入探讨,如 Allen、Cant 和 Walker 将冲积物定义为“山间河流携带的母岩风化产物冲出山口时在出山口和冲积平原以及沿岸平原上(包括三角洲平原部分)形成的沉积物”^[7];Poreba 等将坠积物定义为“在重力作用下以崩落或坠落或崩塌的方式滑动或滚动至坡脚形成的沉积物”,是诱发地质灾害的主要因素之一^[8]。业界对蚀源区砂砾岩分布预测及表征的研究较少,主要受资料限制:(1)潜山类型油气藏埋深普遍超过 3 000 m,即使是海上采集的高精度三维地震资料,分辨率一般不足 50 m,对于刻画厚度不均、变化快的蚀源区砂砾岩精度有限;(2)潜山特殊岩性与上覆岩性之间往往形成强地震反射界面,披覆在潜山表面的砂砾岩储层“隐藏”在地震反射强轴中,识别难度很大。

渤海湾盆地 A 油田属于太古界变质岩潜山裂缝型油田,潜山顶部发育的砂砾岩储层属于古近

纪沙河街组沉积,最厚达 58 m。探井测试表明,砂砾岩产层可贡献气产量达 $3 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$,预测砂砾岩的厚度分布对于开发井优化部署和实现单井产量目标意义重大。本次以山地蚀源区现代沉积为原型考察对象,在地貌单元特征分析的基础上,系统总结了山地蚀源区沉积特征及组合样式,并以原型沉积模式为指导,通过多种技术手段完成 A 油田砂砾岩储层展布预测。

1 蚀源区砂砾岩储层预测思路

针对山地蚀源区砂砾岩沉积厚度大、变化快的特点,从定性和定量两方面开展预测研究,借鉴海上中深层油气藏储层表征技术思路,制定了蚀源区砂砾岩储层预测技术流程(图 1):首先,基于前人研究,针对相似目标现代沉积、露头剖面开展原型特征考察,参考开发成熟油田的经验,总结蚀源区不同地貌单元背景下的砂砾岩沉积组合样式类型并构建原型模型,作为开展储层预测基础;然后,以原型沉积模型为指导,一方面,开展不同尺度古地貌恢复研究,明确研究区的古地貌单元类型,利用“凸起控源、斜坡控扇、沟槽控砂”原则,总结蚀源区不同地貌单元下的砂砾岩多尺度展布规

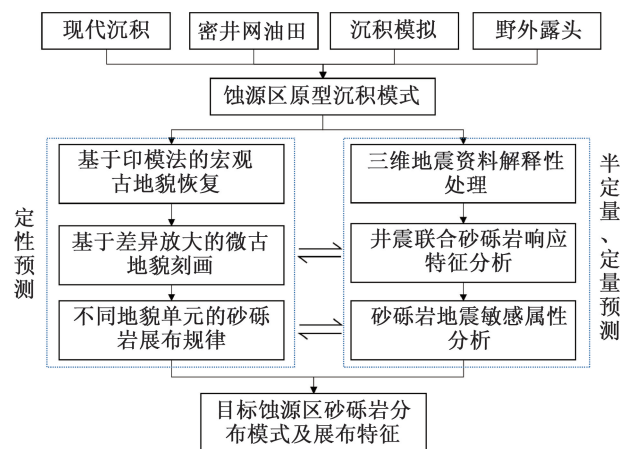


图 1 古蚀源区砂砾岩储层预测技术流程

Fig. 1 Technical process for predicting sand and gravel reservoirs in ancient erosion source areas

律,另一方面,开展三维地震资料解释性处理,并震联动落实蚀源区砂砾岩储层的响应特征,从而优选敏感地震属性实现砂砾岩的半定量-定量预测;最后,将上述两方面预测成果彼此验证,明确蚀源区砂砾岩分布。

2 蚀源区沉积原型模式

类比优选新疆准噶尔盆地西部山地(以下简称西部山地)为考察对象,该山区位于新疆维吾尔自治区准噶尔盆地西侧,北邻托里县,西邻阿拉山口市和艾比湖,东邻克拉玛依市(图2),由许多低山(如成吉思汗山、加阿尔山、玛依力山等)组成,平均海拔约2 000 m,与周边平原地区的相对高度约500 m。西部山地处于天山山脉、阿尔泰山山脉之间,山体整体沿北东向延展,长轴方向延展208 km,短轴方向107 km,主要在新生代喜山期印度板块和欧亚板块的俯冲碰撞活动下降升形成^[9-10]。基岩主要为花岗岩及少量凝灰岩、喷出岩。山势整体较低,各种地貌单元齐全,山前、山间发育有大量的山间河流、冲积扇体、坡积扇以及辫流体系,为考察蚀源区沉积提供原型基础。



图2 新疆准噶尔盆地西部山地卫星俯瞰图像
Fig.2 Satellite aerial image of mountains in the west of the Junggar Basin, Xinjiang

西部山地考察结果显示,冲积扇、山间河道及辫流带(或漫流带)沉积是山地蚀源区的主要沉积类型,在蚀源区的不同地貌单元呈现3种沉积组合样式(表1)。

2.1 山地区发育的“山间侵蚀河道-山前冲积扇”组合

“山间侵蚀河道-山前冲积扇”组合是蚀源区分布最广泛的组合样式,主要发育于山间沟谷末端与山前斜坡地貌环境下,山前存在幕式活动的控沉积断裂,断层上升盘作为剥蚀区,下降盘作为沉积区,山间侵蚀河道沟通源汇区,贯穿山体,河道规模较大、水量充沛、延伸范围较广,因此具备较强的沉积物搬运能力。该样式一般不受地貌坡度限制,蚀源区坡度 $8^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 时均可形成,主要特征表现为:蚀源区风化剥蚀产物由山坡搬运汇集至山间侵蚀河道中,当山间河流冲出山口后,在山前形成一系列群带状冲积扇体,单个扇体形态完整,如果地貌高差较大或山前斜坡坡度较大时,冲积扇体可延展距离更远且不易受后期河流的侵蚀改造(表1,图3)。该样式下的沉积物以砂砾质为主,具有低结构成熟度特征,山间侵蚀河道、山口及山口远端部位的沉积物结构特征显著不同。山间河道沉积表现为牵引流特征,由于两侧山体就近提供物源供给,因此,砾石含量较高,沉积物厚度及粒度变化大,从细砂到粗砾均有发育,砾石颗粒分选较差,多为棱角状。靠近山口处,沉积物粒度变细,远离山口处的部位,粒度进一步变细,磨圆及分选渐好。

表1 准噶尔盆地西部山地蚀源区考察目标及其沉积原型模式

Tab.1 Investigation target and sedimentary prototype model of mountain erosion source area in western the Junggar Basin

原型模式	考虑目标位置	卫星俯瞰图像	模式图
目标1 山地区发育的“山间侵蚀河道-山前冲积扇”组合			
目标2 山间洼地发育的“冲积扇-辫流带-湖泊”组合			
目标3 山间沟谷发育的“侵蚀河道-冲积扇”组合			



(a) 山间侵蚀河道沉积 (b) 山前冲积扇沉积

图3 西部山地区“山间侵蚀河道-山前冲积扇”组合沉积类型

Fig. 3 Sedimentary type of the combination of mountain eroded river channels and mountain front alluvial fans in the western mountainous region



(a) 山间辫流带河道 (b) 山间辫流带河道露头剖面

图4 西部山地区山间辫流带河道沉积及露头剖面

Fig. 4 Sedimentary and outcrop profiles of river channels in the intertidal braided flow zone of the western mountainous region

2.2 山间洼地发育的“冲积扇-辫流带-湖泊”组合

“冲积扇-辫流带-湖泊”组合样式主要形成于山间洼地。山间洼地地势整体较平缓,洼地边部的斜坡区平均坡度为 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$,洼地中部的沉积区平均坡度为 $0^{\circ}\sim 8^{\circ}$ 。该样式表现为如下特征:风化剥蚀产物经山间沟谷持续搬运至山间洼地,首先在谷口形成一系列冲积扇体。随着扇体由谷口逐步向缓坡处、低洼处展布,扇体之间形成局部洼地,在丰水期可积水形成条带状的小型湖泊。山间河道冲出谷口后,随着流速减缓,使冲积扇表面的分流河道沉积逐渐漫流化,并在扇体远端汇水漫溢形成连片分布的辫流带沉积(表1,图4)。该样式下的沉积物由中粗砂质、砾质组成,整体上也具有低结构成熟度特征。冲积扇体沉积物多为细砾至中砾级,偶见粗砾,分选磨圆均较差。辫流带内沉积物粒度较细,主要为中粗砂至细砾级,碎屑颗粒分选中等,磨圆可达次圆状。

2.3 山间沟谷发育的“侵蚀河道-冲积扇”组合

不同于第一种样式,山间沟谷中发育的“侵蚀河道-冲积扇”组合样式主要发育于走滑断裂带处,地貌地形高差较大,断裂带中部地势较低,两侧山体坡度达 $20^{\circ}\sim 35^{\circ}$ 。因此,该样式表现为如下特

征:走滑断裂带形成的河谷中,两侧山体在山前峡谷口处发育一系列冲积扇或坡积扇,受谷内河流的侵蚀改造,扇体形态一般不完整,侵蚀河道也受两侧扇体的限制,不易于发生大规模的迁移摆动(表1,图5)。下切谷内早期河道侵蚀作用强,河道规模较大,河道内沉积物粒度可能大于坡积扇及冲积扇体,分选磨圆均较差,晚期河道萎缩后,沉积物粒度变细,主要为粗粒至细砾级别,砾石多呈现出次棱角状或次圆状。叠覆于河道沉积之上的冲积扇体末端沉积多为细砂至粗砂,层理构造清晰。随着下切侵蚀河道在河谷中迁移摆动,不断拓宽河谷两侧边界,可导致沉积组合样式进一步发生改变。河谷内由于河流的阶段性下切侵蚀作用可形成多级阶地,每级阶地代表短暂的沉积间歇期,阶地上可发育较为丰富的植被,晚期河道可局部汇水成湖,沿河道两侧分布。在该样式中,各期河道的沉积物结构差异较大,每级下切后河道规模变小,沉积物粒度变细。



(a) 山间沟谷全貌 (b) 山间侵蚀河道露头剖面

图5 西部山地区山间沟谷及侵蚀河道露头剖面

Fig. 5 Cross section of mountain valleys and eroded river channels in western mountainous areas

3 沉积模式约束的蚀源区砂砾岩储层预测

从蚀源区砂砾岩沉积原型模式可以看出,古地貌特征对于判断砂砾岩展布规律十分重要,是定性预测储层展布的有效手段。根据恢复尺度和精度,一般将古地貌分为宏观古地貌和微古地貌。研究宏观古地貌可落实沉积体总体分布,微古地貌对沉积过程起调谐作用,恢复微古地貌有利于进一步细化砂体展布特征。

3.1 蚀源区古地貌恢复

由于A油田潜山范围有限,蚀源区距离沉积区较近,沉积物规模及分布受地貌高差影响明显,首先采用“印模法”对蚀源区宏观古地貌进行恢复。其理论依据为,下伏地层侵蚀至上覆地层厚度,形成侵蚀面印模,再根据“古地貌越高则上覆地层越薄,古地貌越低则上覆地层越厚”的原则,

利用上覆地层与残余的下伏呈“镜像”映射的关系,上覆地层厚度的大小可反映古地貌的高低起伏变化^[11]。

结合研究区构造演化特征,太古界地层自燕山运动中晚期出露地表,整体呈现为北高南低的形态,古近系孔店组时期南部断陷活动强烈,沉积了巨厚储层,北部依然出露地表接受风化剥蚀,直到沙河街组沉积末期,在填平补齐作用下,太古界地层全区被覆盖。因此,通过拉平沙河街组顶面层位,求取太古界地层顶面至沙河街地层顶面的时间厚度,可近似得到古近系地层沉积前的古地貌形态,见图6(a)。

在宏观古地貌的基础上,进一步通过细分断块和采用基于层面斜率属性(图6(b))的差异放大技术,精细雕刻微地形地貌单元。其原理见公式(1),对于山谷、山脊等微地貌单元,在宏观地貌图上表现为低幅度构造如小型洼槽或凸起,通过提取层面斜率属性,并根据地貌单元形态设定差异放大因子 a (a 值越大,微地貌形态越明显),再与宏观地貌图相耦合,便可获得微古地貌图,见图6(c)。

$$h = a \times k \times H \quad (1)$$

式中, h 为微古地貌高程,m; a 为差异放大因子,1~10; k 为宏观古地貌层面斜率; H 为宏观古地貌,m。

恢复结果显示,A油田潜山古地貌整体呈现北高南低特征,为被不同级次断层复杂化的断块构造,各区块古地貌特征表现为:4/7/9井区古地貌属于古隆起断块山,山头高且相对平缓,长期风化易形成较厚风化带;2井区古地貌为条带状的高陡断块山;11井区、8井区、10井区、12井区古地貌相

对47/9井区和2井区较低,表现为一系列单斜低断块山;1井区、15井区古地貌为古斜坡。

3.2 蚀源区微古地貌类型及沉积特征

以4/7/9井区为例,蚀源区整体呈南北向展布,见图7(a),古地貌单元主要有山峰和山脊、山前斜坡、山间沟谷,见图7(b)。4井基本位于蚀源区山地顶部,自4井向9井和7井发育山前斜坡和坡-谷转换带。9井西侧发育低幅度小规模蚀源区,东西蚀源区之间发育条带状的山间沟谷,位于山间沟谷内的9井钻遇砂砾岩最厚,可达58 m(图8)。通过对比新疆准葛尔盆地西部山地蚀源区沉积特征认为,4/7/9井区沉积特征基本符合“山间侵蚀河道-山前冲积扇”组合样式。

3.2.1 山峰和山脊

山峰、山脊地貌是在内、外地质营力共同作用下塑造的正向地貌单元,主要发生风化剥蚀作用,沉积作用不明显,分布于4井、7井附近(图9),4井附近钻遇的砂砾岩厚度平均20 m,7井厚度8 m(图8)。该地貌一方面受喜山期构造运动影响,在以幕式挤压为主的内地质营力条件作用下,导致太古界地层褶皱抬升、变形、断裂成山,另一方面,在以流水改造为主的差异风化侵蚀作用下,原始地貌通过削山填谷,地形高差与崎岖程度进一步扩大,逐渐形成山峰、山脊地貌单元。

3.2.2 山前斜坡

4井和7井西侧发育山前斜坡地貌(图9),斜坡上幕式断裂活动的部位发育若干条侵蚀沟槽。根据斜坡的倾角和凹凸程度,可分为平坡、凸坡、凹坡等,斜坡的坡度直接影响沉积类型。4井西侧

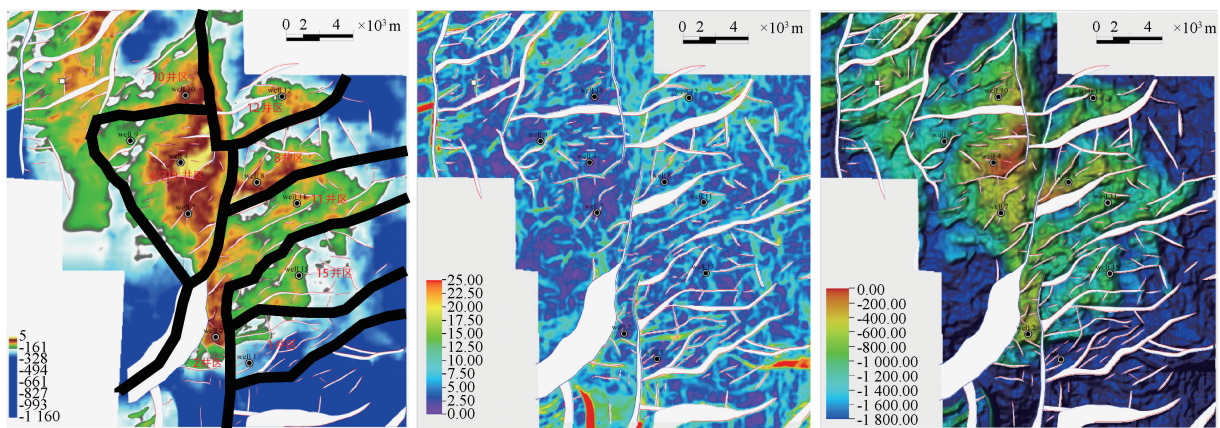
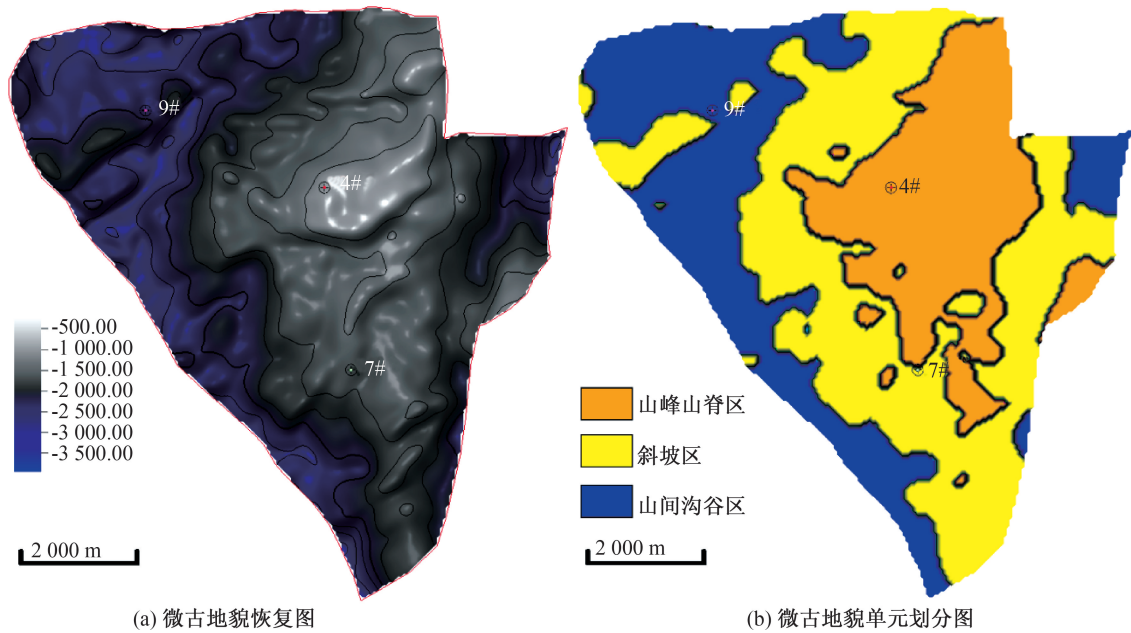


图6 A油田潜山宏观古地貌与井区划分、层面斜率属性及微古地貌恢复图

Fig. 6 Macro paleogeomorphology and well area division, bedding slope attributes, and micro paleogeomorphology restoration map of Oilfield A's buried hill



(a) 微古地貌恢复图 (b) 微古地貌单元划分图

图 7 A 油田 4/7/9 井区微古地貌恢复图和微古地貌单元划分图

Fig. 7 Restoration diagram of micro paleogeomorphology and division map of micro paleogeomorphic units in well area 4/7/9 of Oilfield A

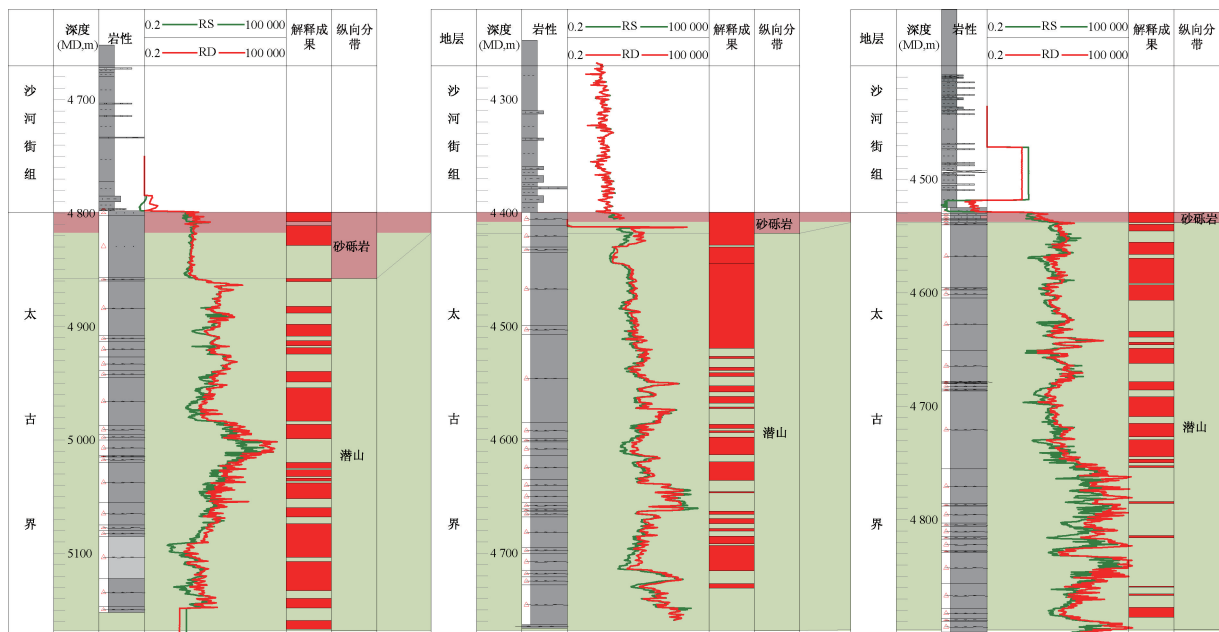


图 8 A 油田 9 井、4 井、7 井连井对比剖面

Fig. 8 Comparison profile of well 9, well 4, and well 7 in Oilfield A

坡度较陡,由蚀源区山地近距离提供物源供给,水动力较强,在局部断层坡折附近可发育小型坡积扇,砂砾岩分布较不稳定,沉积厚度大但变化快,作为相对局限的汇水区,丰水时期在局部低洼处也可形成小型湖泊。7井西侧属于缓坡区,可由多条山间河流输送沉积物,可形成规模较大、延展距离较远的多期扇体或辫流带沉积。

3.2.3 山间沟谷

山间沟谷一般是在断裂带基础上,受地表流水强烈的下切侵蚀作用下形成。井区西部9井附

近发育的南北走向的山间沟谷,最窄处宽度约1600m(图9)。对于沟谷的北部段,由于地形高差大、水流湍急,河道下切深,沟谷剖面形态呈“V”字形,沟谷内一般堆积较厚的河道砾质充填沉积和辫流带沉积,井点钻遇砂砾岩厚度最大。对于沟谷的中部、南部段,地形高差较小,水动力相对减缓,导致下切侵蚀作用相对较弱,河流逐渐发生侧向迁移摆动,导致河谷不断拓宽形成多级阶地,河型逐渐呈现辫状河甚至低弯度曲流河特征。

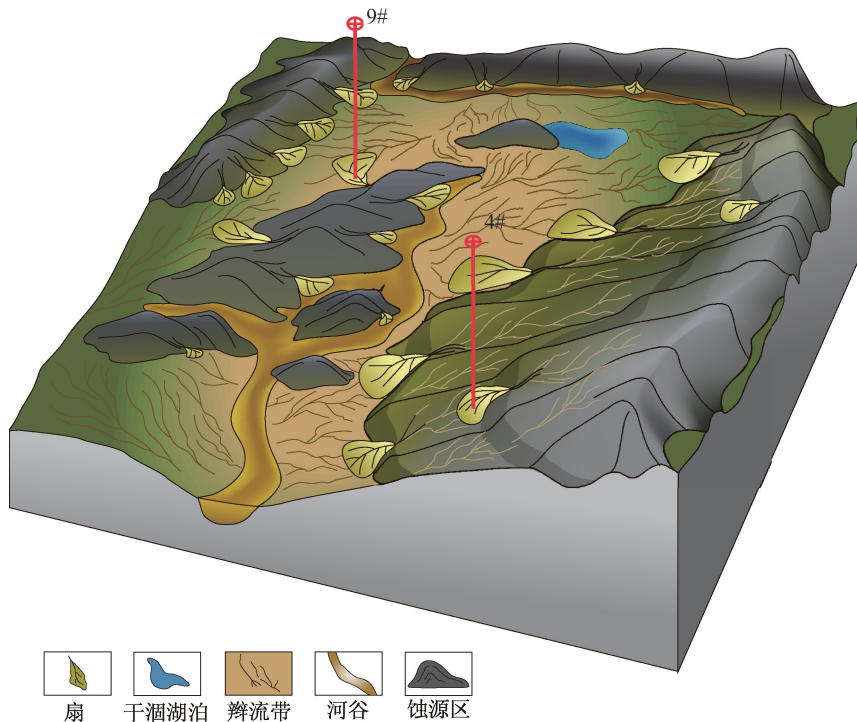


图9 A油田4井、9井附近微古地貌与沉积模式图

Fig. 9 Micropaleogeomorphology and sedimentary pattern map near Well 4 and Well 9 in Oilfield A

3.3 基于低频地震响应特征的蚀源区砂砾岩预测

研究区太古界潜山埋藏深度超过4 000 m,由于埋藏深且受上覆侵入岩影响,三维地震资料信噪比低,目的层段纵向分辨率仅90 m,已钻井揭示潜山顶部的砂砾岩储层厚度(8~58 m,平均约30 m),远低于地震资料分辨能力。此外,潜山上覆厚层东营组泥岩,由于泥岩与潜山变质岩之间存在较大的波阻抗差异,潜山顶面在地震剖面上整体表现为强反射同相轴特征,基于现有三维地震资料,采用常规地震属性预测砂砾岩展布难度较大。

根据地震沉积学原理^[12],地震反射同相轴是等时沉积界面与岩性界面的综合响应,且不同频段的地震数据可以反映不同的地质信息,一般认为高频地震资料的反射同相轴更多地反映等时沉积界面信息,低频地震资料的反射同相轴则主要反映岩性界面信息。因此,根据研究对象具体特征,通过频谱分解,优选合适频段区间的地震数据,可以分别用于研究等时层序构型格架和砂体展布。根据蚀源区沉积原型模式特征,在整体强水动力条件下,不同期次的砂砾岩相变快、叠置规律复杂且缺乏等时可追踪的层序界面,精细搭建砂砾岩沉积体内部等时格架并不现实。因此,可

以通过滤波优选低频地震数据来降低等时界面响应、突出岩性响应特征,结合古地貌发育特征共同刻画砂砾岩复合体分布。

A油田三维地震资料主频13 Hz,频带范围为5~20 Hz(图10)。通过滤波降低大于10 Hz的信号来突出低频部分,反复筛选和对比原始地震剖面发现(图11),当主频达到8 Hz时,地震反射同相轴的强弱变化与井点砂砾岩体厚度变化的对应性最好,9井砂砾岩厚度58 m,地震同相轴表现为中等-强反射特征,7井砂砾岩厚度仅8 m,地震同相轴表现为中等反射特征。

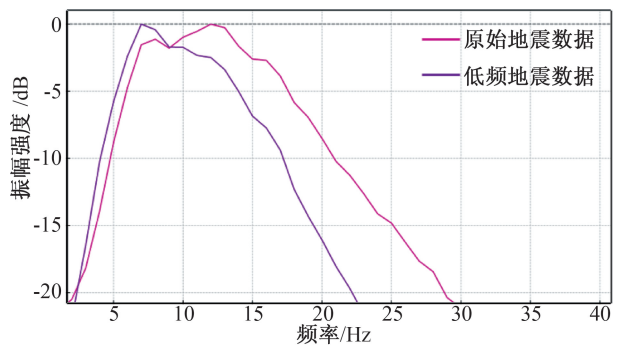


图10 A油田潜山原始三维地震数据与低频地震数据频谱分布

Fig. 10 Spectral distribution of original 3D seismic data and low-frequency seismic data from Oilfield A's buried hill

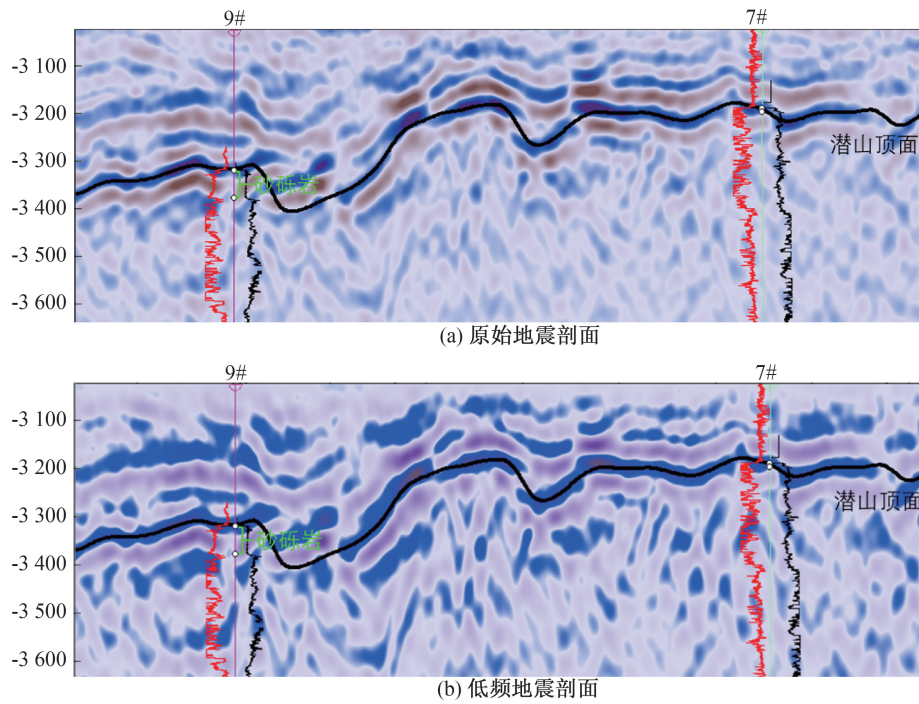


图 11 过 9 井和 7 井的原始地震剖面、低频地震剖面

Fig. 11 Original seismic profiles and low-frequency seismic profiles from wells 9 and 7

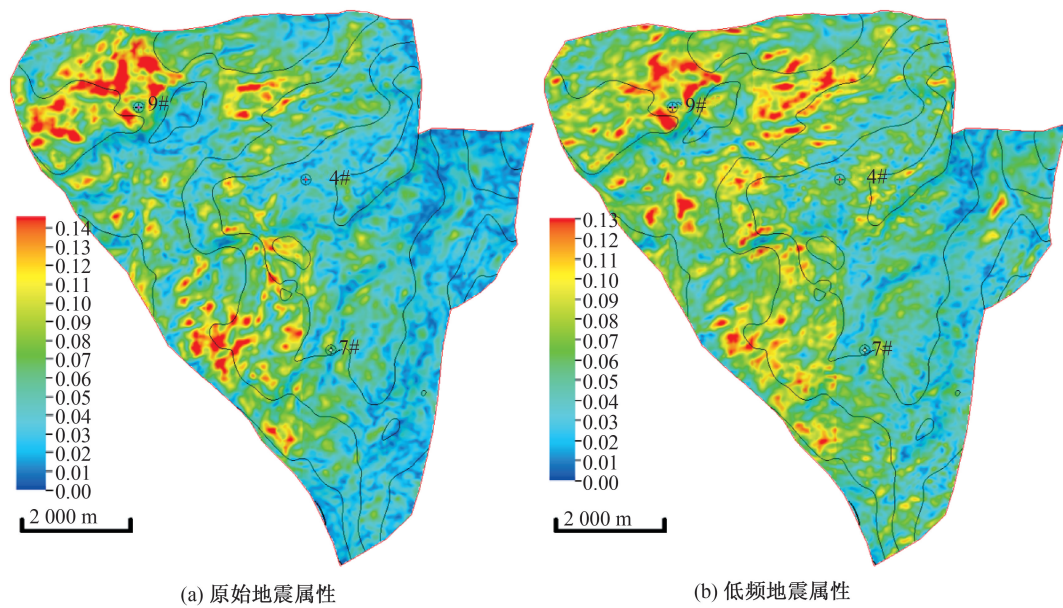


图 12 4/7/9 井区原始地震数据和低频地震数据提取的沿层均方根振幅属性

Fig. 12 Root mean square amplitude attributes extracted from raw seismic data and low-frequency seismic data in the 4/7/9 well area along the layer

图 12(a)(b) 分别为原始地震和低频地震资料沿层提取的均方根振幅属性。结合微古地貌图可以看出, 山前斜坡是砂砾岩沉积的主要地貌单元, 在两套属性成果均能够反映出来。根据原型模式, 山间沟谷地貌单元, 砂砾岩厚度大、呈连续条带状分布, 山前斜坡地貌单元砂砾岩厚度变化较大、呈连片分布, 山峰山脊区的砂砾岩发育程度

低、呈不连续斑块状分布, 低频资料地震属性能更好地反映这些特征。通过将低频地震资料均方根振幅属性与微古地貌图叠合(图 13), 二者具有更好的一致性, 属性较强的区域反映砂砾岩发育较好, 基本对应古地貌图中的山间沟谷和山前斜坡等地貌单元, 而蚀源区高部位属性响应较差, 反映砂砾岩发育程度较低。

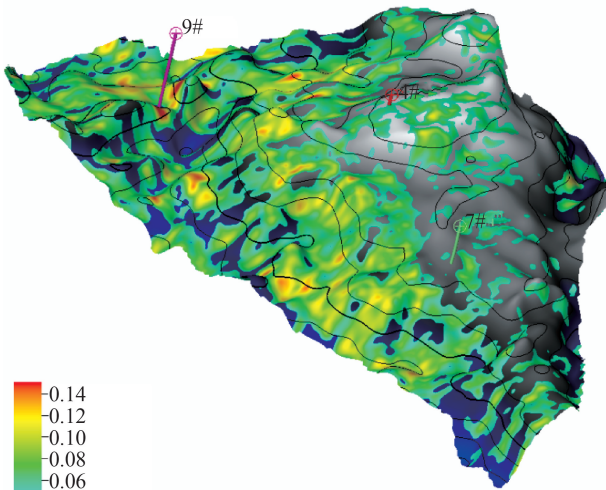


图 13 4/7/9 井区均方根振幅属性与微古地貌图叠合图
Fig. 13 Overlap map of root mean square amplitude attribute and micro paleogeomorphology map in well area 4/7/9

4 结论

1) 蚀源区砂砾岩沉积受古地貌控制,发育多种组合样式,预测砂砾岩展布需以原型沉积模式为指导,基于不同尺度的古地貌恢复,根据古地貌单元类型来定性判断砂砾岩展布规律,结合三维地震资料解释性处理和地震属性优选,实现砂砾岩分布预测。

2) 准噶尔盆地克拉玛依市西部山地现代沉积显示,山间河道、辫流带及冲积扇沉积是山地蚀源区的主要沉积类型,根据主控沉积的地貌背景及其发育的沉积类型,主要发育 3 种组合样式:山地蚀源区最常见的组合样式为“山间侵蚀河道-山前冲积扇”组合样式、山间洼地内主要发育“冲积扇-辫流带-湖泊”组合样式、山间沟谷主要发育“侵蚀河道-冲积扇”组合样式。

3) 采用印模法和基于层面斜率属性的差异放大技术,对渤海 A 油田太古界潜山进行古地貌恢复,研究区微古地貌单元包括山峰山脊、山前斜坡、山间沟谷,沉积特征基本符合“山间侵蚀河道-山前冲积扇”组合样式。

4) 针对渤海 A 油田潜山砂砾岩储层,采用低频地震数据预测砂砾岩复合体平面展布,属性与古地貌具有较好的一致性,山间沟谷地貌单元砂

砾岩厚度大、呈连续条带状分布,山峰山脊区的砂砾岩发育程度低、呈不连续斑块状分布,山前斜坡地貌单元砂砾岩厚度变化较大、呈连片分布。

参考文献:

- [1] 张鹏飞,刘惠民,曹忠祥,等. 太古宇潜山风化壳储层发育主控因素分析——以鲁西-济阳地区为例[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2015,45(5):1289-1298.
- [2] 陈志海,牟珍宝,孙钰,等. 越南白虎油田缝洞型基岩油藏特征与开发对策[J]. 中外能源,2009,14(9):45-49.
- [3] 张顺,王丽静,张博远,等. 松辽盆地安达古隆起风化壳特征及控藏机制[J]. 大庆石油地质与开发,2019,38(1):9-16.
- [4] 李卓,张建民,郭诚,等. 渤海南部古潜山油气田成藏机理及展布规律研究——以渤海 L 油田为例[J]. 石油地质与工程,2017,31(3):58-65.
- [5] 钟大康. 山地蚀源区的沉积类型及其相关概念的系统梳理与厘定[J]. 古地理学报,2016,18(3):335-348.
- [6] 蔡雄飞,廖计华,蔡海磊,等. 第四系冲、洪积物的识别标志和研究意义[J]. 海洋地质前沿,2007,23(1):10-12.
- [7] CANT D J, WALKER R G. Fluvial processes and facies sequence in the sandy braided South Saskatchewan River, Canada[J]. Sedimentology, 1978, 25(5): 625-648.
- [8] GRZEGORZ J P, ZBIGNIEW S, PIOTR M. Influence of pedon history and washing nature on luminescence dating of Holocene colluvium on the example of research on the Polish loess areas[J]. Quaternary International, 2013, 296: 61-67.
- [9] 王宗秀,李春麟,NIKOLAI P,等. 西天山造山带构造单元划分及古生代洋陆转换过程[J]. 中国地质,2017,44(4):623-641.
- [10] 高俊,钱青,龙灵利,等. 西天山的增生造山过程[J]. 地质通报,2009,28(12):1804-1816.
- [11] 赵俊兴,陈洪德,时志强,等. 古地貌恢复技术方法及其研究意义——以鄂尔多斯盆地侏罗纪沉积前古地貌研究为例[J]. 成都理工学院学报,2001,28(3):260-266.
- [12] 董春梅,张宪国,林承焰. 地震沉积学的概念、方法和技术[J]. 沉积学报,2006,24(5):699-704.

(责任编辑 王利君)