

doi: 10.12097/gbc.2022.09.024

# 基于二维地震数据的北部湾南康盆地南缘地层结构探测研究

陈松<sup>1,2</sup>, 徐俊杰<sup>1\*</sup>, 孙尧<sup>3</sup>, 刘圣博<sup>1</sup>, 刘磊<sup>1</sup>, 陈长敬<sup>1</sup>, 王磊<sup>1</sup>

CHEN Song<sup>1,2</sup>, XU Junjie<sup>1\*</sup>, SUN Yao<sup>3</sup>, LIU Shengbo<sup>1</sup>, LIU Lei<sup>1</sup>, CHEN Changjing<sup>1</sup>, WANG Lei<sup>1</sup>

1. 中国地质调查局武汉地质调查中心(中南地质科技创新中心), 湖北 武汉 430205;

2. 古生物与地质环境演化湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430205;

3. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081

1. *Wuhan Center of Geological Survey(Central South China Innovation Center for Geosciences), CGS, Wuhan 430205, Hubei, China;*

2. *Hubei Key Laboratory of Paleontology and Geological Environment Evolution, Wuhan 430205, Hubei, China;*

3. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China*

**摘要:** 近地表二维地震数据在地层结构探测中应用广泛,但从二维地震数据体提取相关地震属性并应用于沉积环境解释的案例较少。通过采用多种叠前噪音去除、振幅补偿、反褶积、高精度速度分析与叠加等处理技术,获得供地层结构划分与属性提取的高信噪比叠加地震剖面。提取盆地基底等 T0 值,并优选均方根振幅、瞬时频率、主频率、带宽等地震属性,计算了基底埋深等 T0 空间分布图、相关地震属性分布图。结果表明,盆地基底西北部埋深小于东南部,呈现北西—南东向倾斜入海的趋势;盆地埋深浅的基底目标沉积环境,对应均方根振幅高、带宽值高,埋深大的基底目标沉积环境,对应均方根振幅低、带宽值低,瞬时频率与主频率也呈现低值特征。

**关键词:** 盆地基底; 地层结构; 均方根振幅; 瞬时频率; 主频率; 带宽; 沉积环境

中图分类号: P631; P539.1 文献标志码: A 文章编号: 1671-2552(2024)06-0994-10

Chen S, Xu J J, Sun Y, Liu S B, Liu L, Chen C J, Wang L. Stratigraphic structure exploration in the southern margin of Nankang basin in Beibu Gulf based on 2D seismic data. *Geological Bulletin of China*, 2024, 43(6): 994-1003

**Abstract:** Near surface two-dimensional seismic data are widely used in stratigraphic structure detection, but there are few cases of extracting relevant attributes from two-dimensional seismic data volume and applying them to sedimentary environment interpretation. By using a variety of pre-stack noise removal, amplitude compensation, deconvolution, high-precision velocity analysis and stacking processing techniques, a stacked seismic profile with high signal-to-noise ratio for stratigraphic structure division and attribute extraction is obtained. In this paper, the T0 values of basin basement are extracted, and the seismic attributes such as root mean square amplitude, instantaneous frequency, dominant frequency and bandwidth are optimized. The T0 spatial distribution map of the basement burial depth and the distribution map of relevant seismic attributes are calculated. The results show that the buried depth in the northwest of the basin basement is less than that in the southeast, showing a trend of dipping in to the sea from northwest to southeast; the basement target sedimentary environment with shallow burial depth corresponds to high root mean square amplitude and high bandwidth. The basement target sedimentary environment with large burial depth corresponds to low root mean square amplitude and

收稿日期: 2022-09-23; 修订日期: 2022-11-26

资助项目: 古生物与地质环境演化湖北省重点实验室基金《北部湾南康盆地南缘凹陷地层精细结构与沉积环境地震属性研究》(编号: PEL-202212)、国家重点研发计划项目《地下水源智能可靠勘测关键技术及装备研发》(编号: 2020YFC1512401)、中国地质调查局项目《北海海岸带陆海统筹综合地质调查》(编号: DD20189502)

作者简介: 陈松(1985-), 男, 硕士, 高级工程师, 从事地震处理与解释工作。E-mail: anhuisongchen@163.com

\* 通信作者: 徐俊杰(1988-), 男, 博士, 工程师, 从事沉积盆地动力学的研究工作。E-mail: m13554408248@163.com

low bandwidth, and the instantaneous frequency and dominant frequency also present low values.

**Key words:** basin basement; stratigraphic structure; root mean square amplitude; instantaneous frequency; dominant frequency; bandwidth; depositional environment

地震勘探是划分地层结构最常用的高分辨率地球物理方法,在近地表地层结构探测、地壳深部结构特征研究等方面有较多的应用(张智等, 2007; 任隽等, 2013; 赵斌等, 2018; 陈松等, 2021)。二维地震资料除提供反射特征信息外,提取的地震属性数据也可开展目的层相关地质特征分析。地震属性是从叠前或叠后地震数据体提取的属性,包含地震波的运动学、几何学、动力学及统计学的相关量值,可解释有关地层、裂缝、岩性、岩相的特征信息(何碧竹等, 2003; 王世瑞等, 2009; 陈建阳等, 2011; 高世臣等, 2016),有的属性对沉积环境敏感,有的可准确揭示地下异常(陈军等, 2001),每种属性都是地震数据的一个子集,反映不同的地质信息。近年来被广泛应用于层序地层解释、岩相古地理描述、构造解释、储层参数预测等领域,目前可供解释的地震属性参数多达 200 种(王开燕, 2013)。虽然能选择的地震属性很多,但不同属性之间存在一定的相关性,需要根据地质体特点、目标需求选择合适的地震属性子集,降低多解性,提高属性解释效果。瞬时频率、瞬时相位、瞬时振幅、相干数据体、波形聚类为基本地震属性,通过 5 种基本属性能反映沉积现象,解释地震分辨率小于 1/4 波长的沉积环境信息(凌云等, 2003)。沉积环境分析中应遵循岩心相、测井相、地震相过程,利用地震属性进行沉积相研究(杨懿等, 2012)。利用三维地震数据精细构造解释的均方根振幅属性,反映柴达木盆地干柴沟组下段沉积时期沉积环境的变化规律,明确了 3 套砂体的分布特征(孙国强等, 2013)。根据三维高分辨率地震沿层切片和沿层地震频谱成像技术,可对河道砂体沉积进行地质解释,推断沉积物源的方向(韩喜等, 2007)。

前人的研究成果主要围绕三维地震资料开展深部油气目标层的地震属性研究,数据密度大、精度高,虽二维地震属性体达不到区域面积性高精度解释的目的,但若尝试利用多条二维地震剖面从空间上探讨沉积环境的总体趋势,也是一项有意义的工作。本次以滨海陆域沉积盆地北部湾南康盆地第四系厚覆盖层到古近系为研究对象,借鉴三维地震

属性相关研究方法,依托二维地震资料建立目标区精细地层结构,分析沿层地震多属性特征,并尝试优选地震多属性,反映沉积环境的关系。

## 1 盆地地层结构分析

### 1.1 地层结构与岩性特征

研究区位于北部湾南康盆地,盆地位于广西南部(图 1-b),整体范围为北海市海城区、银海区、铁山港区,三面环海。南康盆地为构造侵蚀-剥蚀地貌,属于北部湾坳陷北部隆起部分,经历多期海陆交互沉积,形成多处凹陷和凸起,其中龙潭凹陷新生界基底最大埋深钻探揭示超过 253 m(陈鑫, 2013)。南康盆地由新近系南康组碎屑沉积及第四系沉积物组成,近东西向展布,北部及东北部地势较高,往南倾斜延伸入海(杨林等, 2015),属新生代构造盆地。

南康盆地南缘主要发育的第四系可分为下、中、上更新统,中更新统出露最广,下更新统出露较少,上更新统缺失。南康盆地南缘新生界以来的主要地层划分见表 1。

研究区南康盆地南缘第四系更新统出露北海组、湛江组,其中北海组分布面积最广,埋深较浅,与下伏湛江组呈平行不整合接触关系,以红色砂砾、粘土质砂砾层为主,局部含粘土砂砾、棕红色砂砾。湛江组与下伏新近系上新统南康组不整合接触,上部发育灰黄色、灰白色砂质粘土、砂,下部以灰白色、浅红色砂砾层为主夹粉砂、砂质粘土及粘土层。新近系主要发育南康组砂砾层、粉质粘土。古近系主要发育邕宁组砖红色、土黄色砂岩,埋深较大。

### 1.2 地震精细层位划分

地震反射特征和地震属性分析是研究盆地结构的重要手段(刘为付等, 2000; 孙思敏等, 2007; 苗顺德等, 2010; 杜文波等, 2015; 赵继龙等, 2020),地震资料的构造、层位解释是地震属性分析的基础和前提(曹卿荣等, 2007; 魏艳等, 2007)。因此,为获取准确的目的层地震属性,需要对目的层进行高精度的地震成像及地震解释。

在研究区采集了多条二维地震剖面及数据(图 2),主要位于南康盆地南缘—西南缘,地理位置

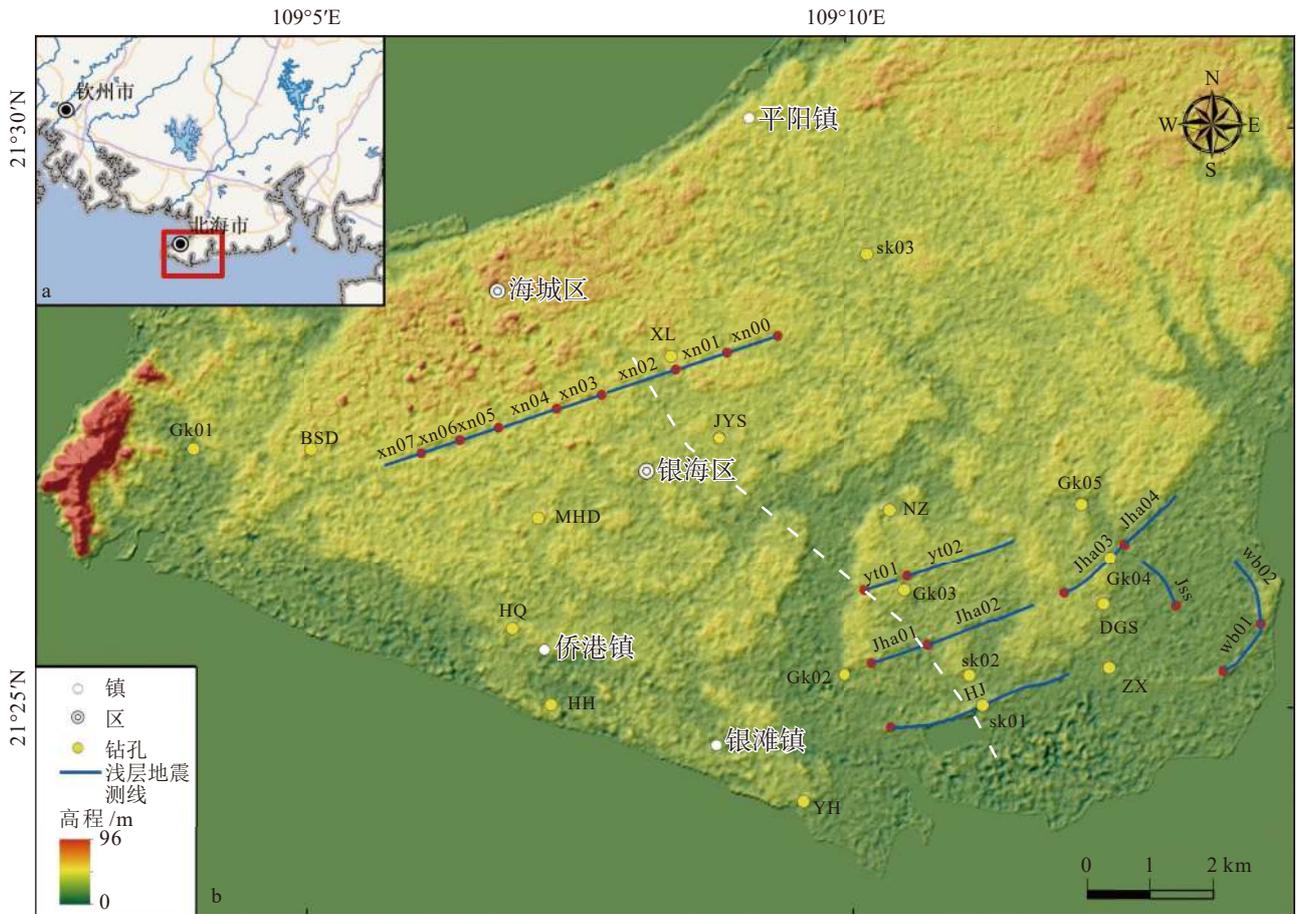


图 1 南康盆地南缘地貌(a)与地震测线布置图(b)

Fig. 1 Landform (a) and seismic survey line layout(b) of the southern margin in Nankang Basin

表 1 南康盆地地层

Table 1 Stratigraphic table of Nankang basin

| 界   | 系       | 统    | 组   | 代号              | 岩性特征              | 厚度/m   |
|-----|---------|------|-----|-----------------|-------------------|--------|
| 新生界 | 第四系     | 全新统  |     | Q <sub>4</sub>  | 砂层、砂砾层为主          | 0~20   |
|     |         | 上更新统 |     | Q <sub>3</sub>  | 砂、中粗砂             | 3~16   |
|     |         | 中更新统 | 北海组 | Q <sub>2b</sub> | 上部为红色砂砾、下部为粘土质砂砾  | 4~22   |
|     |         | 下更新统 | 湛江组 | Q <sub>1z</sub> | 上部为粘土层,下部为砂砾层夹粘土层 | 5~93   |
|     | 新近系     | 上新统  | 南康组 | N <sub>2n</sub> | 砂砾层、粉质粘土层         | 47~103 |
| 古近系 | 上新统一古新统 | 邕宁组  | E   | 砖红色、土黄色砂岩为主     | 10~253            |        |

属于北海市海城区、银海区。为达到高精度地层标定的要求,分别采用叠前随机噪声衰减、区域异常振幅压制、线性干扰去除等联合去噪(宋春华等, 2021)、振幅补偿、预测反褶积、常速度扫描与速度谱联动分析、叠后去噪等处理技术,处理后的叠加地震剖面信噪比高,关键目标层位连续清晰,本文主要以 3 段典型的二维地震叠加时间剖面展示盆地地层

结构分布。

根据南康盆地地层表(表 1)及收集的工程钻孔资料(钻孔 XL、Gk03、Gk04、sk01)推断,图 2 展示的地震叠加剖面较好地揭露了南康盆地南缘地层分层结构,总体可划分为 3 套典型的岩性组分,分别为 T1、T2、T3: T1 对应湛江组(Q<sub>1z</sub>)下段砂砾层,埋深对应时间剖面为 60 ms 左右; T2 对应南康组(N<sub>2n</sub>)

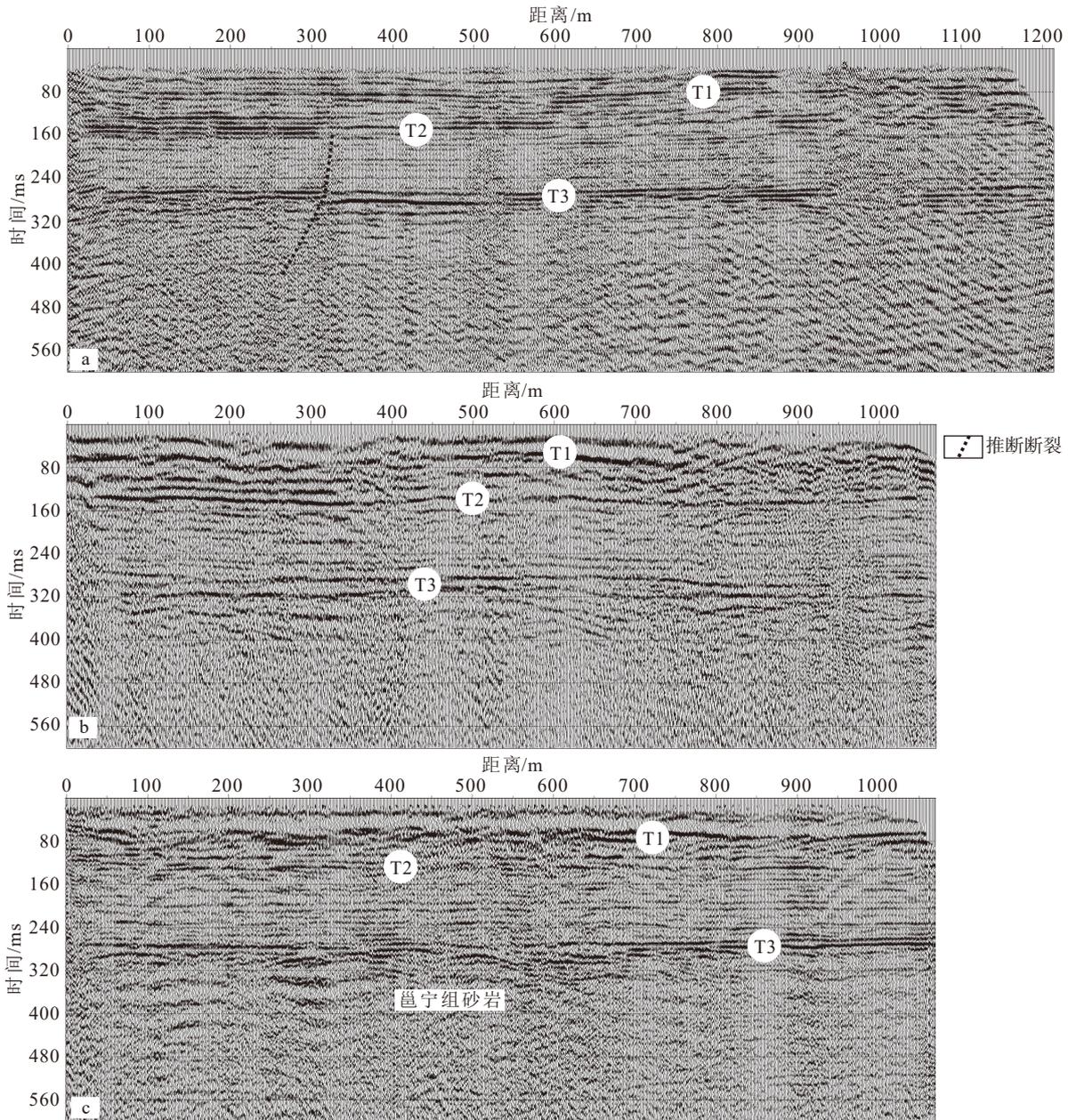


图 2 高精度地震叠加剖面

Fig. 2 High precision seismic stack section

a—yt02 线地震叠加剖面; b—Jha03 线地震叠加剖面; c—wb02 线地震叠加剖面。T1—对应湛江组下段砂砾岩; T2—对应南康组下段粉质粘土层; T3—对应邕宁组砂岩顶界

下段粉质粘土层, 双程反射时间为 130 ms 左右; T3 对应邕宁组(E)砂岩, 双程反射时间为 300 ms 左右。不同层位反射波同相轴在空间上整体较平稳、连续。可见, 借助二维地震资料, 可较好地划分盆地南缘地层精细结构, 与已知地质资料划分层位吻合度较高(表 1), 同时, 南康组与湛江组之间砂、粘土多层互层反射特征也反映了盆地呈现多期旋回沉积现象。

通过计算 T3 层反射时间等 T0 分布图, 可分析南康盆地南缘基底的空间分布(图 3)。

研究区南康盆地南缘基底埋深变化较大, 埋深深度大, 图 3 显示双程反射时间总体介于 80~320 ms 之间, 其中海城区埋深相对较浅, 银海区埋深深度大, 呈现北西—南东方向基底逐渐加深的趋势。银海区基底埋深特征与地质资料(图 4)揭露的盆地龙

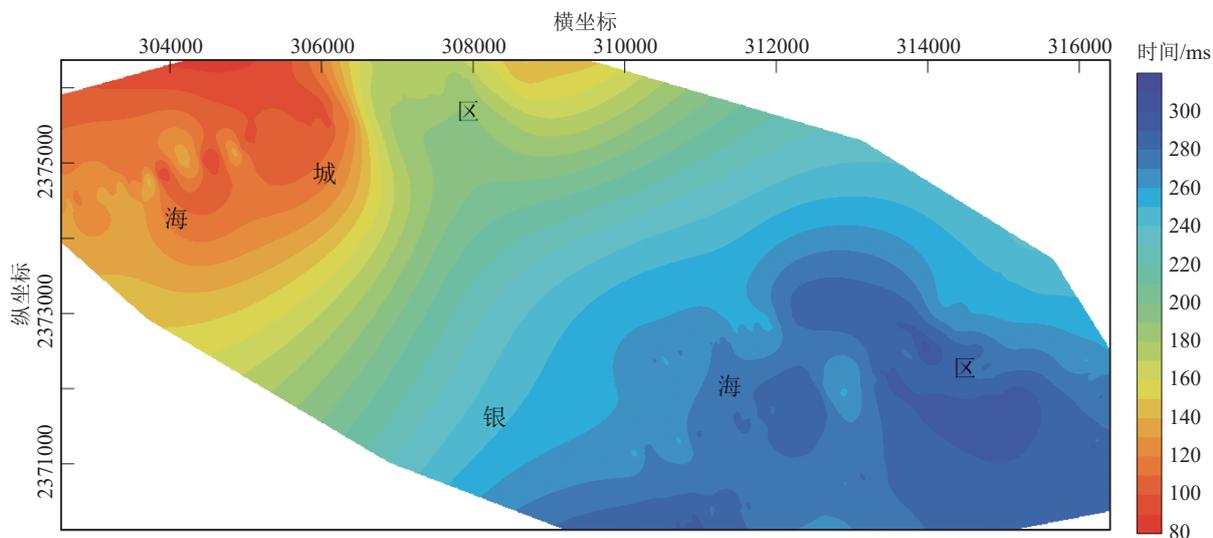


图3 南康盆地南缘基底等 T0 分布图

Fig. 3 T0 distribution map of basement in the southern margin of Nankang basin

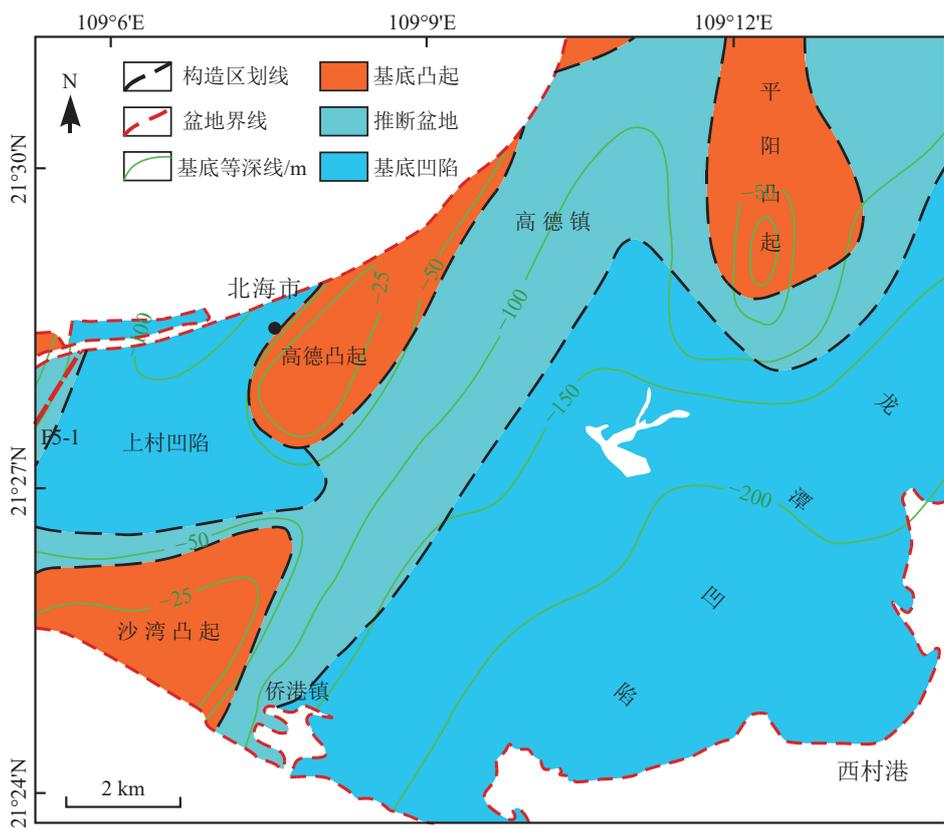


图4 南康盆地南缘基底埋深分布图 (据陈鑫, 2013 修改)

Fig. 4 Distribution map of burial depth of basement in south of Nankang basin

潭凹陷吻合,深度对应的双程反射时间整体超过 200 ms,海城区基底埋深特征与上村凹陷基本一致,双程反射时间不超过 160 ms,分析基底的总体分布特征,认为海城区在早期地质构造运动中地层抬升大于银

海区,后期风化剥蚀、泥沙堆积速率小于后者,最终形成基底的差异。二维地震多剖面计算的南康盆地南缘基底反射时间分布与地质勾划的基底等深图吻合度高,为本文地层结构划分与基底邕宁组地震属

性提取奠定了基础。

## 2 地层地震属性分析

地震属性分析包括属性提取、分析和效果评价,常用的地震属性参数有振幅类属性、瞬时类属性、频谱统计类属性、相位统计类属性和相关统计类属性(杨飞等, 2014)。地震属性的提取时窗有固定时窗和沿层滑动时窗 2 种方法,当目标层能够连续追踪时,可用目标层顶底界限控制时窗,否则以井资料进行约束开取时窗,也可用固定时窗法进行提取。地震属性分析可选择较成熟、应用广泛的属性种类,如均方根振幅、频率属性等。本文时窗提取采用目标层固定时窗的方法,给定层位上下各开 10 ms 时窗,连续追踪层位对应的地震属性,属性提取方法采用 Geoframe4.5 中的 SATK 模块。本文通过盆地邕宁组 T3 对应的反射层位多种沿层地震属性提取与分析后,主要选取均方根振幅、瞬时频率、主频率、带宽 4 种属性,反映地层的沉积环境。

### 2.1 均方根振幅

振幅属性具有反映几何形态变化、地震能量在不同地质环境衰减变化的能力,是常用的地震动力学特征之一(武丽等, 2005)。目前振幅属性可大致分为均方根振幅、最大峰值振幅、平均峰值振幅、绝对振幅总量、振幅总量、平均能量、振幅变化等 15 种(吕琳等, 2011)。这些振幅在应用中存在差异,其中均方根振幅是时窗内振幅平方求和的平均值再开方,计算的数值是正值,较多应用检验了均方根振幅属性对振幅变换非常敏感。均方根振幅属性数学表达式为:

$$RMS = \sqrt{\sum_{i=1}^N X_i^2} / N \quad (1)$$

式中:  $X$  为振幅值,  $N$  为振幅个数,  $RMS$  为均方根振幅值。

在常用的地震属性中,振幅属性是应用最广泛,也是最有效的地震属性之一(张进铎, 2006)。振幅与提取目标层位的反射系数(地层的密度、速度、流体性质)有关,根据振幅变化可区分连续沉积、杂乱反射,可较好地识别沉积体外形、展布特征等。

### 2.2 瞬时频率

瞬时频率属性与目标层位的固有频率具有相关性,而地层固有频率与沉积物颗粒即密度相关(林吉

祥等, 2007), 表现为沉积物颗粒细时,共振频率高,沉积物颗粒粗时,共振频率低。瞬时频率属性的数学表达式为:

$$f(t) = \frac{d\theta(t)}{dt} \quad (2)$$

式中:  $\theta(t)$  为瞬时相位。瞬时频率属性数学意义上为瞬时相位对时间的变化率,是相位的导数,与气体饱和度、地层断裂、岩性、地层改变相关,该方法提供了一种追踪主频率的手段。

### 2.3 主频率

地震波的主频率为傅里叶变换后振幅最大值对应的频率(王晓等, 2020),主频率与瞬时频率呈线性关系,但是两者之间的相关系数较低,有些地区仅为 0.49 左右(张建宁等, 2012)。主频率的变化是由于局部岩性、流体变化引起的,主频率可用于预测特定区域横向异常的追踪,也可以用来预测地层的旋回性。

### 2.4 带宽

带宽是一种量化的相似数据体,带宽值小被认为是较相似的数据体(张林科等, 2010)。带宽属性反映的沉积环境主要表现为带宽低值区域反射特征平滑、简单,沉积岩性较单一,沉积环境稳定,带宽高值区域代表沉积不均匀,沉积环境动荡。

### 2.5 地层沉积环境

在提取地震属性前,需要对叠后数据体进一步压制噪声和异常数据,主要采用滤波方法压制局部噪声,避免地震属性体出现斑点状异常。本次采用沿邕宁组盆地基底地层提取属性的方法,分别提取均方根振幅、瞬时频率、主频率、带宽属性,不同属性经过插值并充填不同颜色,得到盆地基底的地震属性空间分布(图 5)。本文主要计算地震测线覆盖区域的位置属性,如图 5 显示的黑色实线圈定区域。该区域的属性空间位置与图 3 基底等 T0 分布图一致。

图 5 显示,均方根振幅属性总体呈现研究区盆地在海城区大部、银海区东北部区块以均方根振幅值高,中部地区、南部近海地区以均方根振幅值低。收集的 Gk01 钻孔(位置见图 1,岩性见图 6)位于北海海城区西北部,钻孔进尺 13.4 m 即钻遇中风化泥岩,铁红色、强风化,泥质结构,此处对应的均方根振幅属性为蓝色区域低值,对应瞬时频率、主频率、带宽属性为黄色—红色区域高值。依据钻孔对应的地

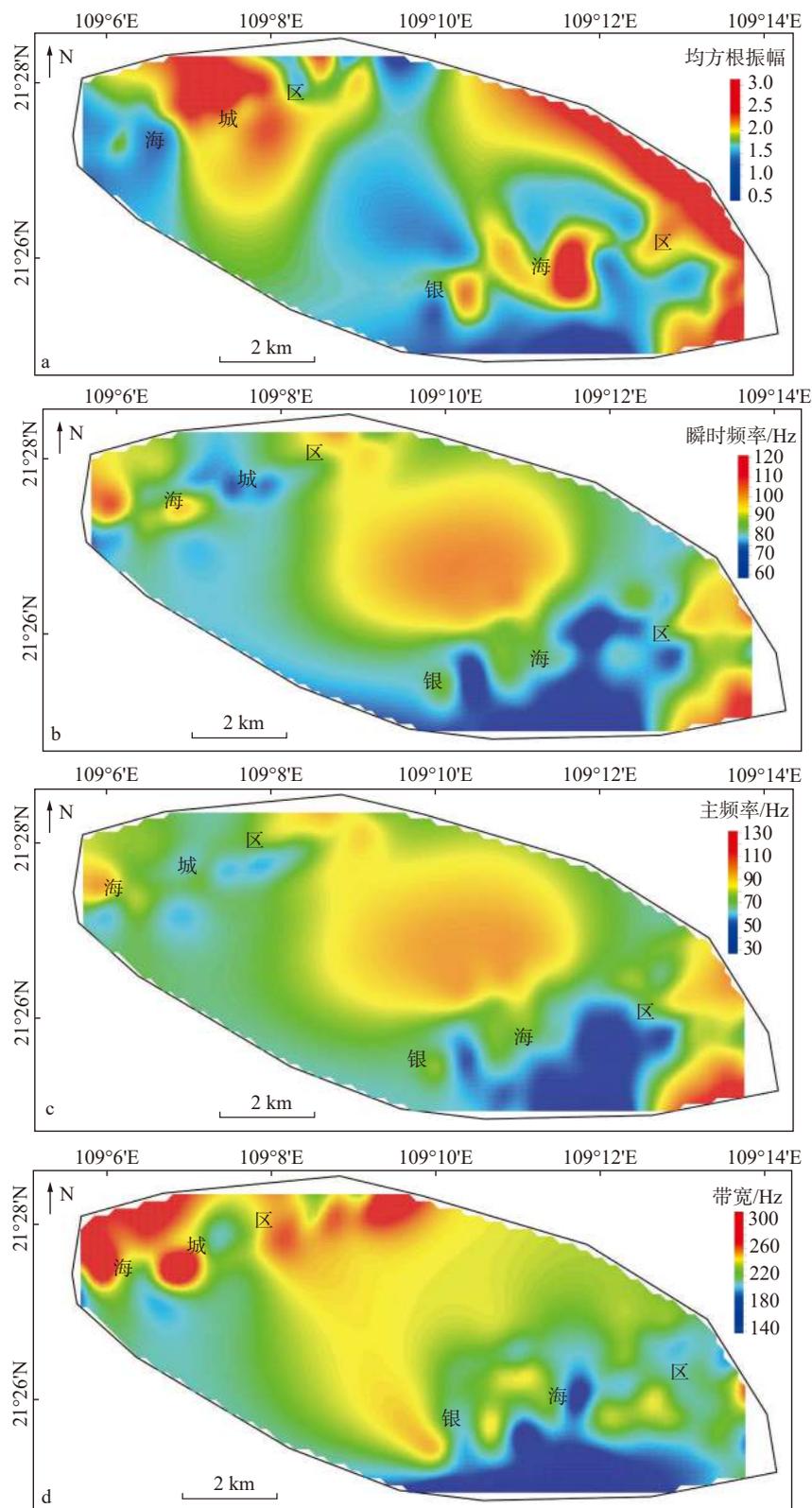


图5 邕宁组沿层提取的地震属性

Fig. 5 Extracting seismic attribute maps along Yongning Formation

a—均方根振幅属性; b—瞬时频率属性; c—主频率属性; d—带宽属性

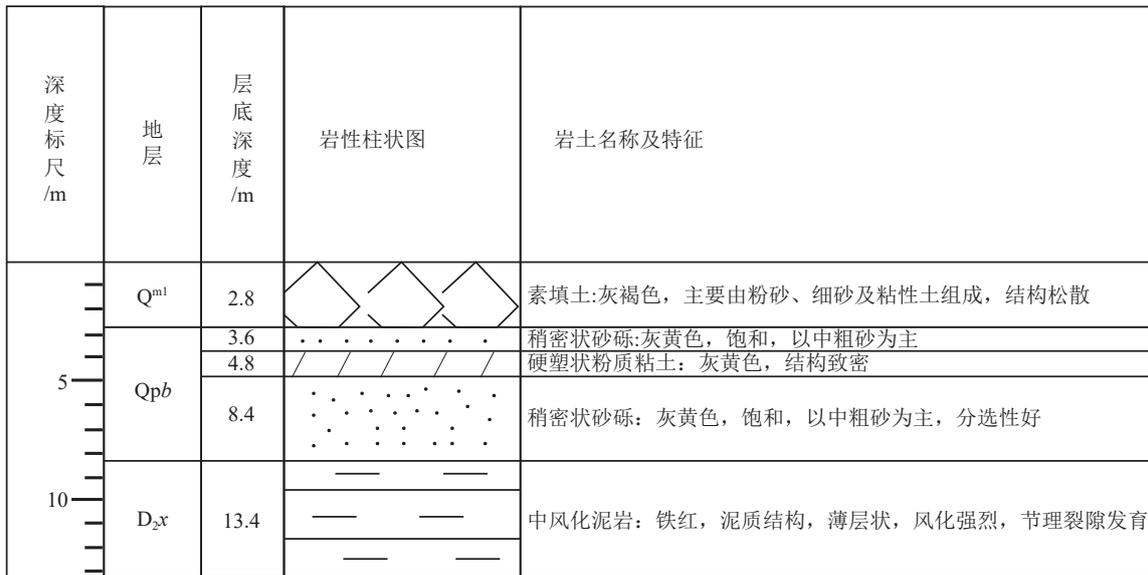


图 6 Gk01 钻孔柱状图

Fig. 6 Borehole histogram of Gk01

Q<sup>m1</sup>—第四系全新统; Q<sup>pb</sup>—第四系更新统北海组; D<sub>2x</sub>—中泥盆统信都组

震属性关系, 结合前人研究成果, 可间接推断地震属性与砂岩富集程度的相关性, 即均方根振幅值高的区域砂岩富集程度高, 均方根振幅值低的地方砂岩富集程度低; 也说明均方根振幅强的位置与瞬时频率、主频率低的位置对应, 认为高频地区与低频地区沉积相不同, 高频地区沉积颗粒较细, 低频地区沉积颗粒较粗。同时, 强振幅代表沉积环境水动力不稳定, 具有高频振荡的特征, 泥沙频繁互层, 弱振幅代表沉积环境的水动力较稳定, 这一环境沉积的地层通常岩性较单一。

带宽主要用来反映沉积物的匀质性, 盆地带宽大于 230 Hz 的高值主要分布在西部的海城区一带, 说明该区沉积环境动荡, 银海区南面环海位置带宽值、瞬时频率相对较低, 沉积物相对单一。带宽值反映的沉积环境与均方根振幅属性反映的砂岩富集程度, 也可间接解释盆地的基底埋深特征, 如海城区基底埋深较浅, 属后期构造运动活跃状态沉积形成, 对应的带宽值高, 沉积环境动荡, 砂岩富集程度高, 风化程度弱, 而银海区埋深相对较深, 属早期沉积环境形成, 带宽值低, 沉积稳定单一, 砂岩风化程度高, 砂岩富集程度低, 均方根振幅值低。均方根振幅属性与盆地基底的埋深特征呈现较强的相关性, 带宽属性基本与近海域、近陆域现象的沉积地貌特征一致。

### 3 讨论

结合前人研究认识(张林科等, 2010)和本地地震属性分布特征, 尝试确定研究区三角洲前缘亚相, 并进一步划分为水下分支河道和分流间湾 2 种不同的沉积微相。

海城区北海站位于东经 109°6'~109°8'之间(图 7), 均方根振幅主要表现为高值, 而瞬时频率、主频率和带宽则相应地表现为低值, 代表该处地层中泥砂岩性发生转变, 但是泥砂岩性地层互层并不算频繁, 本次研究将这一属性异常带解释为分支河道微相, 该微相主要表现为南北向的条带状; 研究区东部均方根振幅也为高值, 而瞬时频率、主频率和带宽则主要表现为低值, 本文将这一属性异常区解释为牵引流主控的分支河道微相, 该微相主要为北西—南东向的条带状, 其最东部瞬时频率、主频率和带宽表现为高值, 表明该处地层不仅发生了岩性转变, 而且泥砂地层互层频繁, 可能代表了相对高能和动荡的水动力环境; 研究区西部的较小范围和中部大范围内, 均方根振幅表现为相对低值, 而瞬时频率、主频率和带宽为相对高值, 表明该处岩性的变化主要表现为渐变, 但泥砂地层互层频繁, 解释为由潮汐作用主控的分流间湾微相, 中部分流间湾微相东南部所有属性都表现为低值, 表明该区域地层岩性均一,

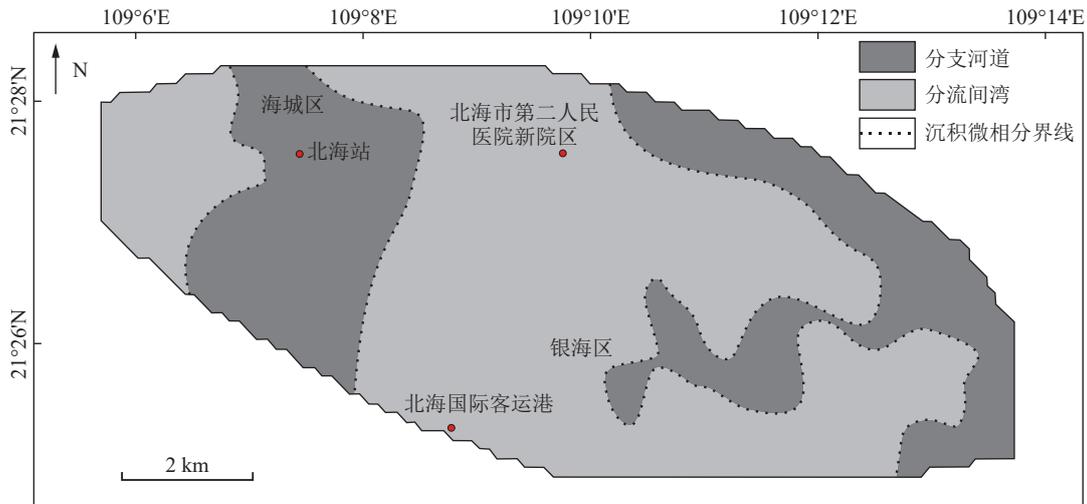


图7 南康盆地南部沉积微相划分

Fig. 7 Micro sediment facies in southern Nankang Basin

水动力稳定,推断存在三角洲前缘的相对深水区。

## 4 结论

通过高精度二维地震测量手段,解译了南康盆地南缘坳陷的地层结构,提取了盆地基底的均方根振幅属性、瞬时频率属性、主频率、带宽属性等,并探讨基底埋深、地震属性、沉积环境之间的关系,得到以下结论。

(1)二维地震叠加时间剖面较好地反映出南康盆地南缘湛江组砂砾层、南康组粉质粘土层、邕宁组盆地基底砂岩地层及湛江组与南康组之间砂砾、粘土互层的总体地层结构,分层结果与已知地质资料吻合。

(2)依据多条二维地震叠加剖面计算的盆地基底反射时间,揭示出盆地西北角海城区埋深小于东南角银海区,呈现北西—南东向倾斜入海的趋势。根据基底埋深数据,银海区位于龙潭凹陷,海城区位于上村凹陷,符合地质认识。

(3)通过盆地基底属性对比分析,可知埋深浅的基底目标沉积环境,对应均方根振幅高、带宽值高;埋深大的基底目标沉积环境,对应均方根振幅低、带宽值低,瞬时频率与主频率也呈现低值。均方根振幅可间接反映岩性组分、砂岩富集程度,瞬时频率、主频率可划分砂岩颗粒物粗细,间接反映岩性的风化程度,带宽可直观反映盆地基底的沉积环境。

## 参考文献

曹卿荣,李佩,孙凯,等. 2007. 应用地震属性分析技术刻画河道砂

体[J]. 岩性油气藏, 19(2): 93-96.

陈建阳,田昌炳,周新茂,等. 2011. 融合多种地震属性的沉积微相研究与储层建模[J]. 石油地球物理勘探, 46(1): 98-102.

陈军,陈岩. 2001. 地震属性分析在储层预测中的应用[J]. 石油物探, 40(3): 94-99.

陈松,徐俊杰,卓武,等. 2021. 可控震源激发的高精度小排列地震探测城市地层结构及沉积意义[J]. 地球物理学进展, 36(3): 1248-1256.

陈鑫. 2013. 北部湾南康盆地地下水系统三维数值模拟及其地质意义[D]. 桂林理工大学硕士学位论文.

高世臣,袁照威. 2016. 地震属性在沉积相预测中的方法研究——序贯随机模式识别[J]. 地球物理学进展, 31(3): 1066-1072.

杜文波,孙桂华,黄永健,等. 2015. 基于地震多属性的储层预测——以珠江口盆地恩平凹陷古近系恩平组为例[J]. 海洋地质前沿, 31(8): 62-70.

何碧竹,周杰,汪功怀. 2003. 利用多元地震属性预测储层信息[J]. 石油地球物理勘探, 38(3): 258-262.

韩喜,高兴友,车廷信,等. 2007. 利用地震属性沿层分析方法研究河流相沉积环境[J]. 石油地球物理勘探, 42(1): 120-124.

林吉祥,施泽凌,凌云,等. 2007. 利用基本地震属性对目标层段的沉积演化解释研究[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 34(2): 174-179.

吕琳,王明君,范继璋. 2011. 地震属性在天然气水合物识别中的应用[J]. 地球物理学进展, 26(2): 596-601.

刘为付,孙立新,刘双龙. 2000. 松辽盆地莺山断陷火山岩地震反射特征及分布规律[J]. 石油实验地质, 22(3): 256-259.

凌云,等. 2003. 基本地震属性在沉积环境解释中的应用研究[J]. 石油地球物理勘探, 38(6): 642-653.

苗顺德,张功成,梁建设,等. 2010. 珠江口盆地北部坳陷带文昌组地震反射特征及沉积环境分析[J]. 天然气地球科学, 21(5): 844-890.

任隽,冯希杰,王夫运,等. 2013. 深地震反射剖面揭示的渭河盆地西安坳陷的地壳精细结构[J]. 地球物理学报, 56(2): 513-521.

宋春华,施刚,巫虹,等. 2021. 上海城市水网地区电火花震源地震探测隐伏断裂的应用探索[J]. 地质力学学报, 27(6): 938-948.

- 孙国强, 马进业, 司丹, 等. 2013. 地震属性在马仙地区下干柴沟组下段沉积环境分析中的应用[J]. 天然气地球科学, 24(6): 1246-1252.
- 孙思敏, 梁德富, 黄述旺. 2007. 东濮凹陷文留油田盐岩地震反射特征及相关油藏类型[J]. 地质力学学报, 13(4): 348-354.
- 王开燕, 徐清彦, 张桂芳, 等. 2013. 地震属性分析技术综述[J]. 地球物理学进展, 28(2): 815-823.
- 王世瑞, 王树平, 狄帮让, 等. 2009. 基于地震属性特征的河道砂体预测方法[J]. 石油地球物理勘探, 44(3): 304-31.
- 王晓, 白志明, 周小鹏, 等. 2020. 地震属性参数在札达—泉水沟深地震测深资料预处理与地震相识别中的应用[J]. 地震地磁观测与研究, 41(5): 10-17.
- 魏艳, 尹成, 丁峰, 等. 2007. 地震多属性综合分析的应用研究[J]. 石油物探, 46(1): 42-47.
- 武丽, 施炜, 董宁, 等. 2005. 鄂尔多斯盆地塔巴庙区块下石盒子组砂岩储层含气性预测[J]. 地质力学学报, 11(3): 226-234.
- 杨飞, 秦喜林. 2014. 利用地震属性辅助进行沉积相研究——以松辽盆地临江南地区扶余油层为例[J]. 石油天然气学报 (江汉石油学院学报), 36(3): 69-72.
- 杨林, 刘庆超, 陈鑫, 等. 2015. 北部湾经济区南康盆地地下水资源应急潜力评价[J]. 中国农村水利水电, 10: 43-46.
- 杨懿, 姜在兴, 魏小洁, 等. 2012. 利用地震属性分析沉积环境的误区: 以辽河盆地滩海东部凹陷东二段为例[J]. 地学前缘 (中国地质大学(北京); 北京大学), 19(1): 221-227.
- 张进铎. 2006. 地震解释技术现状及发展趋势[J]. 地球物理学进展, 21(2): 578-587.
- 张建新, 韩文功. 2012. 东营凹陷浊积砂体叠后地震属性与储层物性相关性研究[J]. 石油物探, 51(2): 204-212.
- 张林科, 覃丽君, 张国焘, 等. 2010. 基于地震属性的地震相分析思路[J]. 工程地球物理学报, 7(6): 694-698.
- 张智, 徐春明, 孟补在, 等. 2007. 洱源-江川宽角地震剖面的地壳反射特征[J]. 地球物理学报, 50(4): 1082-1087.
- 赵斌, 刘财, 韦庆海, 等. 2018. 基于浅层反射地震勘探技术的大庆地区近地表构造特征研究[J]. 地球物理学报, 61(8): 3385-3399.
- 赵继龙, 曾庆鲁, 刘春, 等. 2020. 塔里木盆地英买力地区滩坝薄砂岩敏感属性融合地震预测[J]. 地球物理学进展, 35(6): 2299-2308.